

2026

SCIENTIFIC

Progress & Innovations



Vol. 29
Nº1



Scientific Progress & Innovations

УДК 001

До 2022 року журнал виходив під назвою
«Вісник Полтавської державної аграрної академії».
У 2023 році журнал переєстровано та перейменовано
на «Scientific Progress and Innovation»

Засновник, редакція, видавець:

Полтавський державний аграрний університет.
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготовлювачів і
розповсюджувачів видавничої продукції:

Серія ДК № 7933 від 13.09.2023 року

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого
засобу масової інформації:

Серія КВ № 25459-15399 ПР від 09.03.2023 року

Рік заснування: 1998

Мова видання:

українська, англійська

Рекомендовано до друку та поширення через мережу
Інтернет Вченою радою Полтавського державного
аграрного університету
(протокол № 7 від 2 березня 2026 року)

**Рішення Національної ради України
з питань телебачення і радіомовлення № 1554**

Ідентифікатор медіа – R30-03924

**Науковий журнал включено до категорії Б Переліку
наукових фахових видань України,**

у яких можуть публікуватися результати
дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів
доктора наук, кандидата наук та доктора філософії з
сільськогосподарських, ветеринарних та технічних
наук (наказ Міністерства освіти і науки України
№ 928 від 11.06.2026 р.)

КЛАСТЕР: Сільськогосподарські і ветеринарні науки

Спеціальності:

H1 Агрономія

H2 Тваринництво

H6 Ветеринарна медицина

H7 Агроінженерія

**Журнал представлено у міжнародних
наукометричних базах даних, репозитаріях та
пошукових системах:**

Index Copernicus International, Bielefeld Academic Search Engine
(BASE), Directory of open access scholarly resources (ROAD),
Національна бібліотека України імені В.І.Вернадського,
Національна наукова сільськогосподарська бібліотека НААН,
Scientific & Scholarly Research Database (Scilit), Dimensions, Open
Ukrainian Citation Index (OUCI), Google Scholar, Fatcat, Wikidata,
Crossref, Електронний репозитарій Полтавського державного
аграрного університету

Адреса редакції:

Полтавський державний аграрний університет,
36003, вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна
e-mail: visnyk@pdau.edu.ua
http://www.pdau.edu.ua
https://doi.org/10.31210

© Полтавський державний аграрний університет

UDC 001

Until 2022, the journal was published under the name
“Bulletin of Poltava State Agrarian Academy”.

In 2023, the journal was re-registered and renamed
“Scientific Progress and Innovation”

Founder, Editorial and Publisher:

Poltava State Agrarian University
Certificate of making a publishing house subject to the state
register of publishers, manufacturers and distributors of
publishing products:

Series DC No. 7933 of September 13, 2023

Certificate of state registration print mass media:
Series KV No. 25459-15399 PR of March 09, 2023

Year of foundation: 1998

Language edition:

Ukrainian, English

Recommended for printing and distribution via the Internet
by the Academic Council of Poltava State Agrarian
University
(Minutes No. 7 of March 2, 2026)

**Decision of the National Council
of Television and Radio Broadcasting of Ukraine No. 1554**

Media identifier – R30-03924

**The scientific journal is included in category B
of the List of scientific professional publications of
Ukraine,**

in which the results of thesis papers for Doctor
of Sciences, Candidate of Sciences, and Ph.D
degrees in agricultural, veterinary, and technical sciences
(Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine
No. 928 of June 11, 2026)

CLUSTER: Agricultural and Veterinary Sciences

Specialties:

H1 Agronomy;

H2 Animal Husbandry;

H6 Veterinary Medicine;

H7 Agricultural Engineering.

**The journal is presented international
scientometric databases, repositories
and scientific systems:**

Index Copernicus International, Bielefeld Academic Search Engine
(BASE), Directory of open access scholarly resources (ROAD),
Vernadsky National Library of Ukraine, National Scientific
Agricultural Library, Scientific & Scholarly Research Database
(Scilit), Dimensions, Open Ukrainian Citation Index (OUCI), Google
Scholar, Fatcat, Wikidata, Crossref, Electronic repository of Poltava
State Agrarian University

Editorial address:

Poltava State Agrarian University,
36003, 1/3, Skovorody str., Poltava, Ukraine
e-mail: visnyk@pdau.edu.ua
http://www.pdau.edu.ua
https://doi.org/10.31210

© Poltava State Agrarian University

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Засновано 10 грудня 1998 р.

Періодичність випуску: 4 рази на рік

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор

Віталій МЕЛЬНИЧУК, д. вет. наук (Україна)

Заступник головного редактора

Анатолій ШОСТЯ, д. с.-г. наук (Україна)

ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ

Сергій ГОНЧАРОВ, д. вет. наук (Україна)
Микола МАРЕНИЧ, д. с.-г. наук (Україна)
Ігор ЮСЬКІВ, д. вет. наук (Україна)
Валентина ЄВСТАФ'ЄВА, д. вет. наук (Україна)
Руслан СУСОЛ, д. с.-г. наук (Україна)
Павло ПИСАРЕНКО, д. с.-г. наук (Україна)
Фірас АЛАЛІ, д. філос. з вет. паразитології (Ірак)
Володимир ГАНГУР, д. с.-г. наук (Україна)
Юлія ГОРЮК, д. вет. наук (Україна)
Вадим ЛИХАЧ, д. с.-г. наук (Україна)
Валентин КАРПОВСЬКИЙ, д. вет. наук (Україна)
Світлана УСЕНКО, д. с.-г. наук (Україна)
Микола ПОВОД, д. с.-г. наук (Україна)
Олександр ЦИЛЮРИК, д. с.-г. наук (Україна)
Віктор ПИСАРЕНКО, д. с.-г. наук (Україна)
Марва ДЖАВАД, д. філос. з молек. біології (Ірак)
Павло ВАЩЕНКО, д. с.-г. наук (Україна)
Сергій КУЛИНИЧ, д. вет. наук (Україна)
Олександр КУЦ, д. с.-г. наук (Україна)
Сергій НИЧИК, д. вет. наук (Україна)
Микола БОГАЧ, д. вет. наук (Україна)
Онур ДЖЕЙЛАН, д. філос. з вет. медицини (Туреччина)
Олег КРУЧИНЕНКО, д. вет. наук (Україна)
Оксана БРЕЗВИН, д. вет. наук (Україна)
Антоніна ПАНФІЛОВА, д. с.-г. наук (Україна)
Станіслав КОВАЛЬЧУК, д. тех. наук (Україна)
Віктор ШЕЙЧЕНКО, д. тех. наук (Україна)
Іван МОСТОВ'ЯК, д. с.-г. наук (Україна)
Тетяна КОТ, д. вет. наук (Україна)
Вадим БРЕДИХІН, д. тех. наук (Україна)
Лукаш ГЕЖ, д. тех. наук (Польща)
Сергій ХАРЧЕНКО, д. тех. наук (Україна)
Михайло ШУЛЯК, д. тех. наук (Україна)
Владислав ЗУБКО, д. тех. наук (Україна)

Назва, концепція, зміст і дизайн «Scientific Progress & Innovations» є інтелектуальною власністю Полтавського державного аграрного університету та охороняються Законом України «Про авторські та суміжні права». Матеріали друкуються мовою оригіналу. У разі передрукування посилання на «Scientific Progress & Innovations» є обов'язковим.

Редакція залишає за собою право на редагування текстів, яке не змінює позиції автора.
Автор несе відповідальність за фактичний виклад матеріалу.

SCIENTIFIC JOURNAL

Year of establishment: Since December 10, 1998.

Publication frequency: 4 times a year

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief

Vitalii MELNYCHUK, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)

Deputy Chief Editor

Anatoliy SHOSTIA, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)

MEMBERS OF THE EDITORIAL COUNCIL

Serhii HONCHAROV, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Mykola MARENYCH, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Igor YUSKIV, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Valentyna YEVSTAFIEVA, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Ruslan SUSOL, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Pavlo PYSARENKO, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Firas ALALI, PhD in Veterinary Parasitology (Iraq)
Volodymyr HANHUR, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Yuliia HORIUK, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Vadym LYKHACH, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Valentyn KARPOVSKIY, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Svitlana USENKO, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Mykola POVOD, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Olexander TSYLIURYK, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Viktor PYSARENKO, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Marwa JAWAD, PhD in Molecular Biology (Iraq)
Pavlo VASHCHENKO, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Serhii KULYNYCH, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Oleksandr KUTS, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Serhiy NYCHYK, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Mykola BOGACH, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Onur CEYLAN, PhD in Veterinary Medicine (Turkey)
Oleh KRUCHYNNENKO, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Oksana BREZVYN, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Antonina PANFILOVA, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Stanislav KOVALCHUK, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)
Viktor SHEICHENKO, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)
Ivan MOSTOVIK, Dr. Agr. Sci. (Ukraine)
Tetiana KOT, Dr. Vet. Sci. (Ukraine)
Vadym BREDYKHIN, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)
Łukasz GIERZ, Dr. Tech. Sci. (Poland)
Serhii KHARCHENKO, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)
Mykhailo SHULYAK, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)
Vladyslav ZUBKO, Dr. Tech. Sci. (Ukraine)

The title, conception, content, and design of the «Scientific Progress & Innovations» are intellectual property of Poltava State Agrarian University and are protected by the Law of Ukraine «On Copyright and Related Rights.» Materials are published in original language. In case of reprinting, the reference to the «Scientific Progress & Innovations» is compulsory.

Editorial stuff reserves the right to edit the texts without changing author's attitude.
The author is responsible for the factual account of material.

ЗМІСТ

29 (1)

CONTENTS

**Сільське господарство.
Рослинництво**

6

**Agriculture.
Plant growing****Lohvynenko V.**

Логвиненко В. В.
Прогнозовані зміни придатності середовища *Vanessa cardui* в агроєкосистемах України за кліматичними сценаріями

6

Forecasted changes in the suitability of the *Vanessa cardui* environment in agroecosystems of Ukraine under climate scenarios

Kuriacha K., Marenych M.

Куряча К. О., Маренич М. М.
Перспективи використання методів агроскаутингу в прогнозуванні врожайності кукурудзи

13

Prospects of using agro-scouting methods in forecasting corn yield capacity

Ovsianyk O.

Овсяник О. О.
Ефективність оптимізованих елементів технології вирощування конопель посівних (*Cannabis sativa*)

19

Effectiveness of optimized elements of hemp (*Cannabis sativa*) cultivation technology

Chaiuk O., Chumak E.

Чаюк О. О., Чумак Е. Л.
Ефективність застосування біопрепаратів для контролю розвитку хвороб томата

24

Efficiency of the application of bio preparations for managing the development of tomato diseases

Shepilova T., Petrenko D. I., Vasytkovska K. V., Andreychenko O. G.

Шепілова Т. П., Петренко Д. І., Васильковська К. В., Андрейченко О. Г.
Оптимізація норм висіву та удобрення сої в умовах Північного Степу України

30

Optimization of soybean sowing and fertilization rate in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine

Sievidov V., Sievidov I.

Сєвідов В. П., Сєвідов І. В.
Ефективність різних концентрацій гідроксиду міді у формуванні врожайності індетермінантних гібридів томата в умовах захищеного ґрунту

35

Effect of copper hydroxide concentrations on yield formation of indeterminate tomato hybrids under protected cultivation

Shabetia O., Serhiienko M.

Шабетя О. М., Сергієнко М. Б.
Гермоплазма кавуна звичайного (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) в Україні як основа селекції нових сортів і гібридів

43

Hermoplasma of common watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) in Ukraine as the basis for the selection of new varieties and hybrids

Hanhur V., Poliakov I., Chernysh M., Solianyk V., Hospodynko A.

Гангур В. В., Поляков І. А., Черниш М. Р., Соляник В. А., Господинько А. С.
Вплив добрив на урожайність та якість насіння соняшнику за вирощування в умовах Лівобережного Лісостепу України

49

The effect of fertilizers on the yield and quality of sunflower seeds when grown in the conditions of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine

Turenko V., Oleynikov Ye.

Туренко В. П., Олейніков Є. С.
Моніторинг поширення кореневих гнилей ячменю ярого у східній частині Лісостепу України

55

Monitoring the spread of root roots of spring barley in the Eastern part of the Forest Steppe of Ukraine

Bilyk V., Chuiko D.

Білик В. В., Чуйко Д. В.
Оцінка експериментальних гібридів соняшника за стійкістю до вовчка (*Orobancha cumana* Wallr.)

61

Assessment of experimental sunflower hybrids for resistance to broomrape (*Orobancha cumana* Wallr.)

Hoptsii T., Antonenko V.

Гопцій Т. І., Антоненко В. В.
Адаптивний потенціал зернового амаранту за елементами продуктивності в Східному Лісостепу України

68

Adaptive potential of grain amaranth by productivity elements in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine

Shokalo N., Kulyk M., Rozhko I., Demianchenko V.

Шокало Н. С., Кулик М. І., Рожко І. І., Дем'янченко В. С.
Урожайність сортів гороху посівного зернового та овочевого напрямку використання залежно від застосування інокуляції насіння

74

Yield of field pea varieties for grain and vegetable use depending on seed inoculation

Екологія

81

Ecology

Фокін А. В., Бондарева Л. М.
Просторово-часова модель поширення інвазійних членистоногих в урбоекосистемах з рекреаційними локалітетами

101

Fokin A., Bondareva L.
Spatiotemporal modeling of invasive arthropod spread in urban ecosystems with recreational areas

Біотехнологія

87

**Biotechnology and
Bioengineering**

Зубарева І. М., Сафонова Г. Д., Дрегваль О. А., Гаврилюк В. Г., Скляр Т. В.
Дослідження споруутворюючої активності мукового гриба *Blakeslea trispora*

87

Zubareva I., Safonova H., Dregval O., Havrylyuk V., Sklyar T.
Study of the spore-forming activity of the *Blakeslea trispora* mushroom

**Сільське господарство.
Тваринництво**

92

**Agriculture.
Animal breeding**

Себа М. В., Хоменко М. О., Кононенко Р. В., Свириденко Н. П., Литвиненко Т. В., Хмельничий Л. М., Бочков В. М., Маховий О. Г.
Комплексна оцінка впливу генотипових та паратипових чинників на репродуктивний потенціал собак

92

Seba M., Khomenko M., Kononenko R., Svyrydenko N., Lytvynenko T., Khmelnychyi L., Bochkov V., Makhovyi O.

Comprehensive assessment of the effects of genotypic and paratypic factors on the reproductive potential of dogs

Ветеринарна медицина

99

Veterinary medicine

Аль-Нуаймі А. Дж., Худайер Амаал М., Хасан М. С.
Корегулюючий вплив спиртового екстракту розторопші на репродуктивну функцію шурів за оксидативного стресу, викликаного дихроматом калію

99

Al-Nuaimi A. J., Khudaier Amaal M., Hassan M. S.
Ameliorative effects of milk thistle alcoholic extract on reproductive function and testicular oxidative damage in potassium dichromate treated male rats

Kryvoruchenko D.

Криворученко Д. О.
Особливості клінічного прояву гельмінтозів травного тракту у собак за моно- та асоціативного перебігу у собак

104

Features of clinical manifestations of helminthiases of the digestive tract in dogs in mono- and associative course in dogs

Khymynets P., Karpovskiy V., Zhurenko O., Nahorets R., Grelia R., Hryshchuk I., Karpovskiy P., Kovalchuk O.

Химинець П. С., Карповський В. І., Журенко О. В., Нагорєць Р. В., Греля Р. В., Гришук І. А., Карповський П. В., Ковальчук О. О.
Фагоцитарна активність лейкоцитів у свиней з урахуванням автономної нервової системи при застосуванні наноаквахелатів

110

Phagocytic activity of leukocytes in pigs exposed to nanoaqua-chelates considering autonomic nervous system types

Hameed M. A. K.

Хамед М. А. К.
Протигрибковий ефект екстракту розторопші плямистої (*Silybum marianum*): дослідження *in vitro* з використанням методу серійних розведень в агарі

117

The antifungal effect of milk thistle (*Silybum marianum*) extract: An *in vitro* study using the agar dilution method

Євстаф'єва В. О., Ничик С. А., Корчан Л. М., Канівець Н. С. Особливості інвазування собак різних порід збудниками отодектозу та саркоптозу	122	Yevstafieva V., Nychyk S., Korchan L., Kanivets N. Peculiarities of dog infestation with pathogens of otodectosis and sarcoptic mange across different breeds
Мельник М. М. Комарі роду <i>Culiseta</i> : особливості поширення в Україні та світі	127	Melnyk M. Mosquitoes of the genus <i>Culiseta</i> : peculiarities of distribution in Ukraine and worldwide
Аль-Зайді К. Д. Л. Екологічні чинники, особливості живлення та динаміка популяції <i>Planiliza abu</i> (Heckel, 1843) у Третій річці, Іра	133	Al-Zaidy K. J. L. Environmental drivers, feeding habits, and population dynamics of <i>Planiliza abu</i> (Heckel, 1843) in the Third River, Iraq
Горюк Ю. В., Рудик Г. В. Порівняльний аналіз нормативно-правового регулювання різних країн щодо виробництва бактеріофагових препаратів	141	Horiuk Yu., Rudyk H. Comparative analysis of regulatory frameworks in different countries regarding the production of bacteriophage preparations
Мельничук В. В., Губський Ю. А. Особливості клінічного перебігу цистоізоспорозу котів	148	Melnychuk V., Hubskyi Y. Features of the clinical course of feline cystoisosporosis
Богач М. В., Богач О. М., Пероцька Л. В., Сердюк Н. П. Епізоотологічні особливості та вікова динаміка протозойних інвазій у курей різних напрямів продуктивності	153	Bogach M., Bohach O., Perots'ka L., Serdiuk N. Epizootiological patterns and age dynamics of protozoan infections in chickens under different production systems
Саліх С. І., Алькафаджі Н. А., Аль-Саєді С. Р., Муса Р. Ф. Вплив застосування екстракту зелених кавових зерен на ліпідний профіль та оксидативний стрес у самок кролів	160	Salih S. I., Alkafaji N. A., Al-Saedi S. R., Mousa R. F. Effects of green coffee bean extract supplementation on lipid profile and oxidative stress in female rabbits
Коне М. С., Кручиненко О. В., Петренко М. О. Діагностика та порівняння схем лікування дерматофітозів у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава	166	Kone M., Kruchynenko O., Petrenko M. Diagnosis and comparison of treatment schemes for dermatophytosis in cats in the conditions of the veterinary clinic LLC "Biocenter", Poltava.
Ялдрум А., Альбарзанджі Б. Ф., Сабєр Д. Ф., Джавад М., Алалі Ф., Альхєснаві А. Ш. М. Дослідження ектопаразитів домашнього голуба (<i>Columba livia domestica</i>) у провінції Кербела, Ірак	173	Yaldrum A., Albarzanji B. F., Saber D. F., Jawad M., Alali F., Alhesnawi A. Sh. M. Investigation of ectoparasites on domestic pigeon (<i>Columba livia domestica</i>) in Karbala province, Iraq
Фурман С. В., Адамчук Л. О., Бріндза Я., Лісогурська Д. В., Лісогурська О. В., Іванова І. Є. Екологічні детермінанти якості бджолиного обніжжя в Україні	180	Furman S., Adamchuk L., Brindza J., Lisohurska D., Lisohurska O., Ivanova I. Ecological determinants of bee pollen quality in Ukraine
Ковальчук Ю. В., Гуральська С. В., Гришук Г. П., Пінський О. В., Буднік Т. С., Карплюк В. В. Клінічний перебіг та лікувальна ефективність гелю «Exolium» у комплексній терапії гнійно-некротичних процесів ділянки пальця у корів	187	Kovalchuk Y., Hural'ska S., Hryshchuk H., Pinsky O., Budnik T., Karpiuk V. Clinical development and curative efficacy of "Exolium" gel in complex therapy purulent and necrotic processes in the digit region of cows
Противень Р. А. Ефективність запропонованого способу підготовки та фарбування мазків фекалій під час лабораторної діагностики гіардіозу собак	195	Protyven R. Effectiveness of the proposed method for preparation and staining of fecal smears during laboratory diagnostics of giardiasis in dogs.
Плєханов Д. А. Клініко-гематологічні особливості перебігу гострого та хронічного отиту у собак	200	Plekhanov D. Clinical and hematological features of acute and chronic otitis in dogs
Нада Р. Г., Магді Е. М., Абас С. Ф. Г., Хамід Б. Х. Гістологічне та гістохімічне дослідження впливу окисного стресу на тканину підшлункової залози шурів із цукровим діабетом та захисної ролі екстракту <i>Nigella sativa</i>	206	Nada R. H., Mahdi E. M., Abas S. F. H., Hameed B. Kh. Histological and histochemical study of oxidative stress effects on pancreatic tissue in diabetic rats and the protective role of <i>Nigella sativa</i> extract
Киричко О. Б., Кирилович А. О., Тітаренко О. В. Окремі аспекти алергії у собак і котів (поширення, гематологічний та біохімічний профіль, лікування)	218	Kyrychko O., Kyrylovych A., Titarenko O. Selected aspects of allergy in dogs and cats (prevalence, hematological and biochemical profiles, treatment)
Альхаліссі Х. Н. Порівняльна гістологічна оцінка місцевого відновлювального крему та системного застосування Омега-3 на загоєння ран шкіри у собак	223	Alkhalissi H. N. Comparative histological evaluation of topical repair cream and systemic Omega-3 supplementation on canine skin wound healing
Проданчук О. В. Вплив цитрату Se на біохімічні показники крові кролів	231	Prodanchuk O. The effect of citrate Se on the biochemical parameters of rabbit blood
Панасова Т. Г., Киричко Б. П., Кулинич С. М., Шепель К. Ю. Крипторхізм у собак і котів: поширеність, діагностика, лікування	237	Panasova T., Kyrychko B., Kulynych S., Shepel K. Cryptorchidism in dogs and cats: Prevalence, diagnosis, and treatment
Аббас І. Дж., Аль-Імара Е. А., Альхасан Д. А. Зелений синтез наночастинок заліза за допомогою <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , виділеної з ґрунту, та їхня антибактеріальна й антибіоплівкова активність проти патогенних бактерій	244	Abbas I. J., Al-Imara E. A., Alhasan D. A. Green synthesis of iron nanoparticles from <i>Pseudomonas aeruginosa</i> isolated from soil and their antibacterial and antibiofilm activity against pathogenic bacteria
Ковальчук І. І., Химинєць Т. М. Репродуктивна здатність бджолиних маток та продуктивність бджіл за підгодовлі германію цитрату	255	Kovalchuk I., Khymynets T. Reproductive capacity of bee queens and bee productivity under germanium citrate supplementation
Богдан А. А., Суслова Н. І. Вплив ідіопатичної епілепсії на якість сну у собак: реплікаційне дослідження та валідація запитальника SNoRE в Україні	261	Bohdan A., Suslova N. The impact of idiopathic epilepsy on sleep quality in dogs: A replication study and validation of the SNoRE questionnaire in Ukraine
Калюжний Н. В. Патоморфологічні зміни гепаторенальної системи собак при бабезіозі	266	Kalyuzhnyi N. Pathomorphological changes of the hepatorenal system in dogs with babesiosis
Чаян М. А., Фадхіл С. Р., Алсайд К. З. Гістопатологічна та імуногістохімічна оцінка тканини нирок шурів за хронічного впливу низьких доз кадмію та нефропротекторний потенціал N-ацетилцистеїну	272	Chayan M. A., Fadhil S. R., Alsayyid Q. Z. Histopathological and immunohistochemical evaluation of renal tissue in rats following chronic low-dose cadmium exposure and the nephroprotective potential of N-acetylcysteine

Forecasted changes in the suitability of the *Vanessa cardui* environment in agroecosystems of Ukraine under climate scenarios

V. Lohvynenko✉

Article info

Correspondence Author

V. Lohvynenko

E-mail:

vadym.lohvynenko@pdau.edu.uaPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine

Citation: Lohvynenko, V. (2026). Forecasted changes in the suitability of the *Vanessa cardui* environment in agroecosystems of Ukraine under climate scenarios. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 6–12. doi: 10.31210/spi2026.29.01.01

Modern climate change significantly transforms the functioning of agroecosystems and affects the spatial dynamics, abundance, and potential harmfulness of migratory phytophages in the temperate climate zone. In this regard, it is particularly important to study possible changes in the ecological niches of species capable of responding quickly to changes in climatic parameters. One such species is the painted lady butterfly *Vanessa cardui* (Lepidoptera: Nymphalidae), which is characterised by high migratory ability, broad ecological plasticity and the potential to form significant populations in agricultural landscapes. The aim of the study was to assess the current and projected suitability of the environment for *Vanessa cardui* and to determine possible changes in its potential range under different climate change scenarios. The analysis used georeferenced data on the species' localisation obtained from global biogeographical databases, which were combined with bioclimatic variables based on CMIP6 climate projections. Habitat suitability was modelled using the entropy maximisation (MaxEnt) algorithm, which is widely used to model the potential distribution of species based on presence-only data. The quality of the models obtained was assessed using AUC indicators and ROC curve analysis. The modelling results showed that the spatial distribution of *Vanessa cardui* is largely determined by temperature seasonality, the average temperature of the warmest quarter, and the amount of precipitation during the growing season. Forecasts indicate a possible redistribution of territories with varying levels of ecological suitability, an increase in the spatial mosaic of the environment, and fragmentation of optimal habitats under scenarios of more intense climate stress. At the same time, a significant part of the studied region retains a moderate level of environmental suitability for the species, which indicates not an unambiguous expansion or reduction of the range, but an increase in the variability of living conditions and potential instability of populations. The results obtained indicate a possible transformation of the balance between phytophagous pressure and natural ecological regulation in soybean agroecosystems, which is caused by changes in climatic parameters. The proposed approach to forecasting can be used in phytosanitary risk assessment systems, improving monitoring programmes and developing adaptive strategies for managing agroecosystems in conditions of climate uncertainty.

Keywords: climate change, environmental suitability, species distribution modelling, MaxEnt, soybean agroecosystems, migratory phytophagous insect, ecosystem services.

Прогнозовані зміни придатності середовища *Vanessa cardui* в агроєкосистемах України за кліматичними сценаріями

В. В. Логвиненко

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Сучасні кліматичні зміни істотно трансформують функціонування агроєкосистем і впливають на просторову динаміку, чисельність та потенційну шкодочинність мігруючих фітофагів у помірній кліматичній зоні. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває дослідження можливих змін екологічних ніш видів, здатних швидко реагувати на трансформацію кліматичних параметрів. Одним із таких видів є сонцевик будяковий *Vanessa cardui* (Lepidoptera: Nymphalidae), який характеризується високою міграційною здатністю, широкою екологічною пластичністю та потенційною здатністю формувати значні популяції в агроландшафтах. Метою роботи було оцінити сучасну та прогнозовану придатність середовища для *Vanessa cardui* і визначити можливі зміни його потенційного ареалу за різних сценаріїв кліматичних змін. Для аналізу використано геоприв'язані дані про локалізації виду, отримані з глобальних біогеографічних баз даних, які були поєднані з біокліматичними змінними, сформованими на основі кліматичних проєкцій CMIP6. Моделювання придатності середовища здійснювали за допомогою алгоритму максимізації ентропії (MaxEnt), що широко застосовується для моделювання потенційного розподілу видів на основі даних типу presence-only. Якість отриманих моделей оцінювали за допомогою показників AUC та аналізу ROC-кривих. Результати моделювання показали, що просторовий розподіл *Vanessa cardui* найбільшою мірою визначається температурною сезонністю, середньою температурою найтеплішого кварталу та кількістю опадів у вегетаційний період. Прогнозні оцінки свідчать про можливий перерозподіл територій з різним рівнем екологічної придатності, зростання просторової мозаїчності середовища та фрагментацію оптимальних зон існування за сценаріїв інтенсивнішого кліматичного навантаження. Водночас значна частина досліджуваного регіону зберігає помірний рівень придатності середовища для виду, що вказує не на однозначне розширення чи скорочення ареалу, а на підвищення варіабельності умов існування та потенційну нестабільність популяцій. Отримані результати свідчать про можливу трансформацію балансу між фітофагічним тиском і природною екологічною регуляцією в агроєкосистемах сої, що обумовлюється змінами кліматичних параметрів. Запропонований підхід до прогнозування може бути використаний у системах оцінювання фітосанітарних ризиків, удосконаленні програм моніторингу та розробленні адаптивних стратегій управління агроєкосистемами в умовах кліматичної невизначеності.

Ключові слова: кліматичні зміни, придатність середовища, моделювання розподілу виду, MaxEnt, агроєкосистеми сої, мігруючий фітофаг, екосистемні дисервіси.



Бібліографічний опис для цитування: Логвиненко В. В. Прогнозовані зміни придатності середовища *Vanessa cardui* в агроєкосистемах України за кліматичними сценаріями. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 6–12.

Introduction

Climate change, accompanied by rising temperatures, changes in precipitation patterns and an increase in the frequency of extreme weather events, is having an increasingly strong impact on the spatial dynamics of phytophagous insects and, accordingly, on phytosanitary risks in agroecosystems [1–3]. One of the most sensitive components to such changes are migratory species, for which the climate determines the possibility of seasonal movement, the success of generational development and the formation of high-density populations. For *Vanessa cardui*, large-scale seasonal migration between Europe and Africa, including crossing the Sahara, has been proven, making this species a representative model for assessing climate-induced changes in range [4–6].

Recent studies emphasise that climate change is already causing noticeable shifts in the ranges of Lepidoptera and may alter the spatial structure of populations, particularly through changes in wind regimes, temperature thresholds for development, and seasonal resource availability. An important example is new data on the scale of *V. cardui* migrations and their connection with atmospheric processes, confirming the potential role of climatic factors as «transport» and «phenological» drivers of migratory insects [7].

To predict the spatial response of species to climate change, species distribution modelling (SDM) approaches are widely used in the world literature, in particular the MaxEnt algorithm, which allows assessing the suitability of the environment and constructing forecast maps for climate change scenarios [8–10]. The practice of using MaxEnt to assess the current and future potential distribution of insects, including economically significant pests, is actively developing and demonstrating its suitability for applied risk forecasting tasks in agriculture. At the same time, for the territory of Ukraine and, in particular, for agricultural landscapes where soybeans occupy an important place in the structure of agriculture, the issue of scenario forecasting of changes in the suitability of the environment for *V. cardui* using CMIP6 approaches remains insufficiently generalised and requires systematic analysis taking into account regional specifics [11, 12]. An important source of bioclimatic variables for such studies are global climate databases, in particular WorldClim, which provide high-resolution spatial data on temperature and hydrothermal characteristics of the climate [13].

For Ukraine, the issue of the impact of climate change on the spread of phytophagous insects and the structure of agroecosystems is particularly relevant, as changes in climatic conditions can significantly alter the phytosanitary status of agroecosystems and the stability of agricultural production. In particular, in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe, where soybeans occupy an important place in the structure of agriculture, climate change can affect the spatial dynamics of pest populations and related ecosystem risks [14–16].

In this regard, it is important to use modern methods of spatial analysis and environmental suitability modelling, which allow assessing possible changes in the potential range of species and their response to climate change [17, 18]. This approach provides a scientific basis for predicting phytosanitary risks and developing adaptive monitoring systems in agroecosystems.

The aim of the study

The aim of the study is to establish patterns of change in environmental suitability and spatial configuration of the potential range of *Vanessa cardui* (Linnaeus, 1758) under different CMIP6 climate scenarios using MaxEnt modelling to assess possible phytosanitary risks in soybean agroecosystems.

To achieve this goal, the following tasks were set:

- to create a database of georeferenced *V. cardui* findings and prepare input data for modelling;
- to select and justify a set of bioclimatic predictors and MaxEnt model parameters;
- to evaluate the quality of habitat suitability models using AUC and ROC indicators and determine the contribution of key climatic factors;
- to construct maps of current habitat suitability and forecast maps based on climatic scenarios;
- analyse spatio-temporal changes in environmental suitability and interpret them in terms of possible phytosanitary risks in soybean agroecosystems.

Materials and methods

To justify the selection of indicator groups of biota as indicators of ecosystem services and soybean agroecosystems, we used methods of analytical review and critical synthesis of scientific sources from the perspective of the concept of climate change in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

To form a list of indicator taxa and prepare initial data on their distribution, we collected and summarised information from open databases and literary sources, taxonomic verification, nomenclature standardisation, spatial validation of geographical references, filtering and elimination of duplicates, as well as bringing the data into a single spatial format for further analysis.

To assess the current and projected suitability of model species' habitats, species distribution modelling was applied based on presence data using multivariate suitability model algorithms, with model calibration and forecast quality assessment using standard accuracy metrics. GIS analysis of suitability maps and a scenario approach based on climate projections for different time intervals were used for spatial interpretation of results and comparison of scenarios. To summarise the impact of predictors and identify the leading factors in the dynamics, we used variable contribution analysis in models, response function interpretation, and comparison of determinants for groups representing regulatory services (entomophages), supporting services (pedobionts), and disservices (phytophages).

Results and discussion

Within Europe, *Vanessa cardui* is characterised by an extremely wide and almost continuous range, reflecting its high mobility and migratory life strategy (**Fig. 1**).

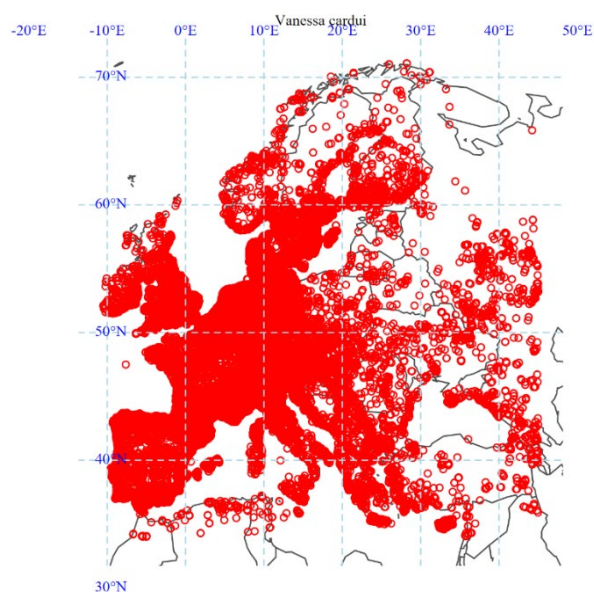


Fig. 1. Spatial distribution of *Vanessa cardui* (Linnaeus, 1758)

according to GBIF data (<https://www.gbif.org/species/4299368>) (graphic representation by the author)

In general, the European distribution of *Vanessa cardui* should be interpreted not as a classic stable range, but as a dynamic spatial-temporal mosaic formed by regular interregional migrations, fluctuations in population size, and broad tolerance to climatic and landscape conditions.

Fig. 2 summarises the results of modelling the ecological niche of *V. cardui*, combining the assessment of the relative contribution of individual ecological factors and model quality indicators. Panel a (Variable contribution) shows that the formation of the species' ecological niche is primarily determined by the temperature characteristics of the cold season and indicators of thermal continentality. The average temperature of the coldest quarter has the greatest contribution, indicating the key role of winter temperatures in the spatial distribution of the species. The second position is occupied by isothermality, which reflects the ratio of daily and annual temperature variability and actually characterises the stability of the thermal regime. The minimum temperature of the coldest month and the annual temperature range also make a significant contribution, emphasising the importance of cold extremes and continental climate as limiting factors.

Among the second-order variables, bio04 (temperature seasonality) makes a noticeable contribution, which is consistent with the species' negative response to pronounced seasonal variability. Soil characteristics generally play a subordinate

but not negligible role: the most significant of these are ocd_d5. This indicates an indirect influence of soil conditions through the structure of vegetation cover and the production potential of biotopes.

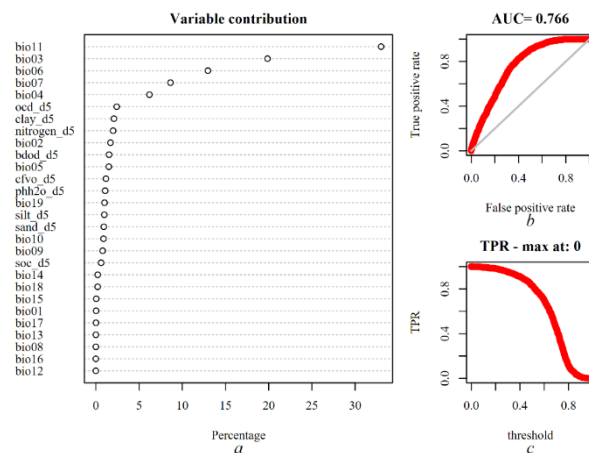


Fig. 2. Contribution of ecological factors to the formation of the ecological niche of *Vanessa cardui*

BIOClim climatic variables (temperature and hydrothermal regimes): bio01 – average annual air temperature (°C), bio02 – average daily temperature range (average difference between Tmax and Tmin), bio03 – isothermality (bio02/bio07 × 100), bio04 – temperature seasonality (standard deviation × 100), bio05 – maximum temperature of the warmest month, bio06 – minimum temperature of the coldest month, bio07 – annual temperature range (bio05 – bio06), bio08 – average temperature of the wettest quarter, bio09 – average temperature of the driest quarter, bio10 – average temperature of the warmest quarter, bio11 – average temperature of the coldest quarter, bio12 – annual precipitation, bio13 – precipitation of the wettest month, bio14 – precipitation in the driest month, bio15 – precipitation seasonality (coefficient of variation), bio16 – precipitation in the wettest quarter, bio17 – precipitation in the driest quarter, bio18 – precipitation in the warmest quarter, bio19 – precipitation in the coldest quarter; soil variables (d5, 0–5 cm): bdod_d5 – bulk density of soil (kg·m⁻³), cfvo_d5 – volume fraction of coarse fragments (%), nitrogen_d5 – total nitrogen content in soil (%), phh2o_d5 – soil acidity (pH in water extract), sand_d5 – sand content (%), silt_d5 – silt content (%), clay_d5 – clay content (%), soc_d5 – soil organic carbon content (%), ocd_d5 – organic carbon stock density (kg·m⁻²).

Other soil variables and most precipitation indicators make a relatively small contribution to the model, which corresponds to the high ecological plasticity of the species in terms of moisture. The AUC value of 0.766 indicates good forecast quality, i.e. the model is significantly better than random guessing at distinguishing between conditions suitable and unsuitable for the species, but at the same time does not reach the level of almost deterministic prediction. This is a typical result for widespread, migratory species with a broad niche. Panel c (TPR depending on the threshold) shows the change in the proportion of true positive predictions as the threshold value increases. The maximum TPR value is achieved at a zero or near-zero threshold, after which the sensitivity of the model decreases sharply as the threshold increases. This curve shape means that the model reproduces the potential range of the species well, but with stricter selection criteria, it quickly «cuts off» a significant part of the territories, which again corresponds to the biology of *V. cardui* as a mobile, generalist species. The results in **Fig. 2** show that the ecological niche of

V. cardui is primarily structured by the thermal characteristics of the cold season and indicators of climatic stability, while precipitation and soil properties play a secondary, modulating role. This is consistent with the species' migration strategy and its ability to effectively utilise a wide range of landscapes in the absence of severe climatic constraints.

According to the modelling results (**Fig. 3**), the current potential range of *V. cardui* in Europe is characterised as wide, almost continuous and spatially slightly fragmented, which is consistent with the actual distribution pattern of this migratory species. The Maxent forecast map (left panel) shows high values of ecological suitability (green and yellow-green tones) across most of Western, Central and Southern Europe.

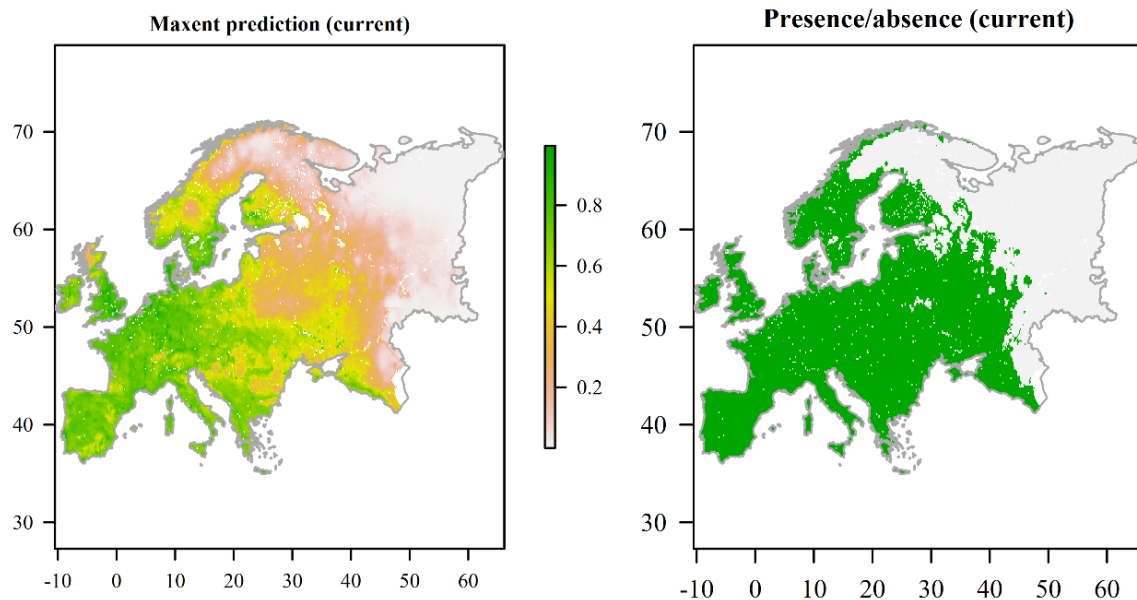


Fig. 3. Modelling of the current range of *Vanessa cardui*

The presence/absence map (right panel), obtained based on the model threshold value, shows an almost continuous potential presence of the species across most of Europe.

This spatial pattern confirms that the actual range of the species is determined not so much by rigid climatic barriers as by migration dynamics, interannual fluctuations in population size and the availability of temporarily suitable habitats, making *Vanessa cardui* one of the most ecologically plastic butterflies in Europe. According to the forecast (**Fig. 4**), *V. cardui* retains a wide potential range within Europe under all considered climate change scenarios, so the expected changes in populations are more likely to be related to the redistribution of suitable territories and changes in the spatial stability of habitats than to a sharp overall decline in the species. In the near future (2021–2040), the picture will remain almost unchanged from the present: most of Western, Central and Southern Europe will remain suitable, while in the north there is potential for regular incursions of the species and the maintenance of migration waves. This means that numbers and frequency of sightings in most regions should remain high, with possible changes manifesting themselves mainly as seasonal and interannual fluctuations typical of a migratory butterfly.

Time intervals: 2021–2040, 2041–2060 and 2061–2080, corresponding to the short-, medium- and long-term prospects for climate change in the 21st century. The calculations were made using Shared Socioeconomic

Pathways (SSP) scenarios: SSP1-2.6 – a sustainable development scenario with low greenhouse gas emissions; SSP2-4.5 – a moderate scenario with an average level of climate impact; SSP3-7.0 – a scenario of regional fragmentation with high emissions; SSP5-8.5 – a scenario of intensive economic growth accompanied by very high greenhouse gas emissions. Green indicates areas classified by the model as suitable for the potential presence of the species under appropriate climatic conditions, while light areas correspond to zones with low predicted environmental suitability.

According to **Table 1**, within the Forest-Steppe zone as a whole, a relatively stable background of habitat suitability for *V. cardui* can be observed in the short and medium term, while more significant changes are concentrated mainly in the distant interval 2061–2080 and are manifested mainly under high emission scenarios.

If we generalise the «core» of forest-steppe regions, for which the zone is directly designated as Forest-Steppe, the average current index level is about 0.58 and in 2021–2040 it remains virtually unchanged under SSP1-2.6 (also about 0.58), remaining very close to the current level under SSP3-7.0 and even increasing slightly under SSP5-8.5, while under SSP2-4.5 a slight 'decline' (by about one hundredth) is recorded. In 2041–2060, these fluctuations remain small: for SSP1-2.6 and SSP3-7.0, the average values remain close to the current level, and SSP2-4.5 and SSP5-8.5 show only moderate deviations without a clear trend towards a systematic decline.

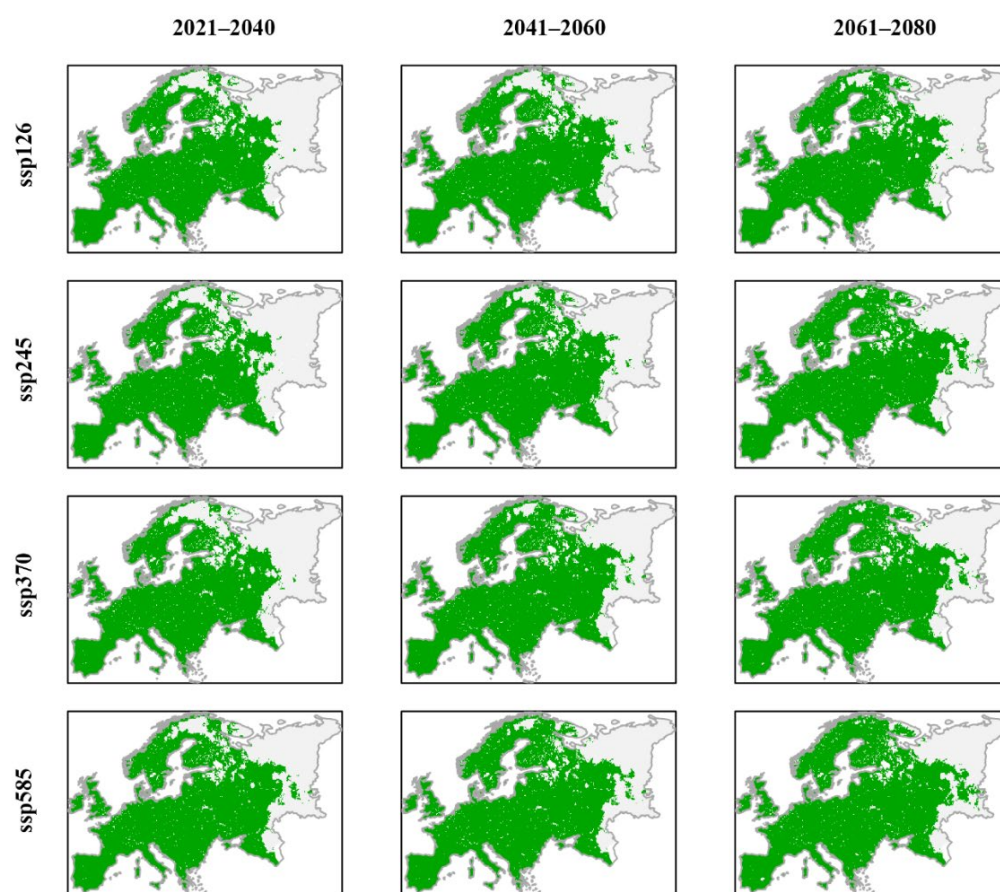


Fig. 4. Forecast of changes in the range of *Vanessa cardui* over time depending on different climate change scenarios

Table 1

Forecast of the habitat preference index for *Vanessa cardui* over time depending on different climate change scenarios

Region	Physical-geographical zone	Current	2021				2041				2061			
			ssp1 26	ssp2 45	ssp3 70	ssp5 85	ssp1 26	ssp2 45	ssp3 70	ssp5 85	ssp1 26	ssp2 45	ssp3 70	ssp58 5
Cherkasy	Forest-Steppe	0.57	0.57	0.56	0.56	0.58	0.57	0.56	0.57	0.57	0.57	0.57	0.55	0.53
Kharkiv	Forest-Steppe (south-east – transition to steppe)	0.52	0.51	0.49	0.5	0.5	0.51	0.49	0.51	0.49	0.50	0.51	0.48	0.47
Kyiv	Polissya – Forest-Steppe (transitional)	0.54	0.54	0.53	0.54	0.55	0.54	0.54	0.55	0.55	0.54	0.55	0.54	0.54
Kyiv	Polissya – Forest-Steppe (transitional)	0.48	0.48	0.47	0.48	0.49	0.48	0.47	0.48	0.48	0.48	0.49	0.47	0.47
Kirovograd	Forest-Steppe (south – transition to steppe)	0.54	0.53	0.5	0.53	0.54	0.53	0.52	0.54	0.51	0.53	0.52	0.48	0.46
Poltava	Forest- steppe	0.53	0.53	0.51	0.52	0.53	0.52	0.51	0.53	0.51	0.52	0.53	0.49	0.47
Sumy	Forest-Steppe – Polissya (transitional; forest-steppe often dominates)	0.48	0.49	0.47	0.48	0.49	0.48	0.48	0.49	0.49	0.48	0.49	0.48	0.47

In this context, the Poltava region appears to be a «middle» forest-steppe region with moderately high suitability in the current climate (0.53) and maintaining this level in the coming decades under low and very high scenarios in 2021–2040 (SSP1-2.6 = 0.53; SSP5-8.5 = 0.53), while under SSP2-4.5 and SSP3-7.0 there is a slight decrease to 0.51–0.52. In 2041–2060,

Poltava region continues to demonstrate stability without a directed trend: values fluctuate between 0.51–0.53 (SSP1-2.6 = 0.52; SSP2-4.5 = 0.51; SSP3-7.0 = 0.53; SSP5-8.5 = 0.51), i.e. the model does not indicate a systematic “erosion” of suitable conditions in the medium term. The most significant changes for the region appear in 2061–2080 and are clearly scenario-driven: under

SSP1-2.6 and SSP2-4.5, the index remains close to the current level (0.52–0.53), but under SSP3-7.0 it drops to 0.49, and under SSP5-8.5 to 0.47, i.e. the relative decline compared to the current state is approximately 0.04–0.06. In terms of population interpretation, this means that for the Poltava region, under low and moderate climate change trajectories, conditions sufficient for the regular presence of the species are expected to be maintained, while under high scenarios in the long term, there is an increased likelihood of reduced stability of presence, greater interannual variability in abundance, and increased dependence on migration inflows and the local mosaic of food resources and microclimatic «refugia» in the forest-steppe landscape.

The results of the modelling are consistent with current understanding of the influence of climatic factors on the spatial dynamics of migratory Lepidoptera. Previous studies have shown that the distribution of *Vanessa cardui* is largely determined by environmental temperature parameters, in particular seasonal temperature and temperature conditions during the cold season, which affect the success of overwintering, phenology and migration processes of the species [1–5, 19]. The results obtained in our study confirm the dominant role of temperature variables in the formation of the ecological niche of *V. cardui*, which is consistent with the conclusions of other authors regarding the climatic determination of the migrations of this species.

The use of the MaxEnt algorithm for modelling environmental suitability is also consistent with

current practice in species distribution research. As noted by Elith J. and Merow C. et al., this approach is one of the most effective tools for analysing the potential distribution of organisms based on presence-only data and is widely used to assess the impact of climate change on biodiversity and pest distribution [8–10]. The AUC values obtained in our model correspond to typical indicators for species distribution studies with a broad ecological niche and high migratory activity.

The predicted changes in the spatial structure of suitable habitats for *V. cardui* are consistent with the results of other studies, which show that climate change more often leads not to a sharp expansion or contraction of the range, but to an increase in spatial mosaicism and fragmentation of suitable territories [20–22]. Similar trends may manifest themselves in the form of increased interannual variability in population size and instability of local species populations.

From a practical point of view, this means that in soybean agroecosystems, spatial and temporal variability of phytophagous pressure may increase. This situation requires the improvement of pest monitoring and forecasting systems using climate-oriented models, which will allow for the timely assessment of phytosanitary risks and the planning of adaptive agroecosystem management measures in the context of climate change [23–25].

Conclusions

The study proved that the state and spatio-temporal dynamics of biota determine the ability of agroecosystems to

maintain productivity and ecological stability without excessive dependence on external resources. To analyse the main ecosystem services, indicator groups representing different functional blocks of the agroecosystem were used. Entomophages (beneficial insects) were considered as indicators of regulatory services. Pedobionts are considered as indicators of supporting services: soil formation, structure formation, organic matter transformation, and element cycling. Pests are considered as agents of ecosystem disservices: risks that reduce crop yields and system stability, and as indicators of the potential intensification of harmful effects under climate instability.

The dominant factors in the dynamics of indicator groups in the context of climate change differ, but they share a common climatic context. For entomophages, temperature indicators (especially seasonality and cold period parameters) dominate, determining overwintering, phenology and synchronisation with the food base; the hydrothermal regime of the growing season is also significant. At the same time, the actual level of services will be determined both by the climate and by the quality of agroecological management, which can compensate for some of the negative trends by supporting biodiversity and the functional integrity of the agricultural landscape.

The practical value of the information obtained lies in the formation of a decision support system for the adaptation of soybean production. The results can be used for territorial risk differentiation (identification of areas where the likelihood of weakening biocontrol or deterioration of soil functions will increase); prioritisation of adaptation measures (integrated plant protection with a focus on preserving beneficial biota; soil conservation technologies; maintaining organic matter and minimising compaction; landscape elements that serve as refuges for entomophages and pedobionts); optimisation of monitoring (transition to monitoring indicator groups as proxy indicators of services, enabling early warning of service degradation); justification of regional recommendations for agricultural policy and advisory services to improve the resilience of soybean agroecosystems in conditions of climate uncertainty.

DECLARATIONS

Ethical Statement

Not applicable.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The authors declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Parmesan, C., & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421(6918), 37–42. <https://doi.org/10.1038/nature01286>
2. Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37(1), 637–669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
3. Bebber, D. P., Ramotowski, M. A. T., & Gurr, S. J. (2013). Crop pests and pathogens move polewards in a warming world. *Nature Climate Change*, 3(11), 985–988. <https://doi.org/10.1038/nclimate1990>
4. Stefanescu, C., Soto, D. X., Talavera, G., Vila, R., & Hobson, K. A. (2016). Long-distance autumn migration across the Sahara by painted lady butterflies: exploiting resource pulses in the tropical savannah. *Biology Letters*, 12(10), 20160561. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2016.0561>
5. Talavera, G., & Vila, R. (2016). Discovery of mass migration and breeding of the painted lady butterfly *Vanessa cardui* in the Sub-Saharan: the Europe-Africa migration revisited. *Biological Journal of the Linnean Society*, 120(2), 274–285. <https://doi.org/10.1111/bj.12873>
6. Talavera, G., Bataille, C., Benyamini, D., Gascoigne-Pees, M., & Vila, R. (2018). Round-trip across the Sahara: Afrotropical painted lady butterflies recolonize the Mediterranean in early spring. *Biology Letters*, 14(6), 20180274. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0274>
7. Reich, M. S., Ghouri, S., Zabudsky, S., Hu, L., Le Corre, M., Ng'iru, I., Benyamini, D., Shipilina, D., Collins, S. C., Martins, D. J., Vila, R., Talavera, G., & Bataille, C. P. (2024). Trans-Saharan migratory patterns in *Vanessa cardui* and evidence for a southward leapfrog migration. *IScience*, 27(12), 111342. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.111342>
8. García-Berro, A., Shipilina, D., Backström, N., Suchan, T., Palahí, A., Collins, S. C., Martins, D. J., Pierce, N. E., Vila, R., & Talavera, G. (2025). A north-south hemispheric migratory divide in the butterfly *Vanessa cardui*. *Nature Communications*, 16(1), 11341. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-67185-7>
9. Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2010). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
10. Merow, C., Smith, M. J., & Silander, J. A. (2013). A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter. *Ecography*, 36(10), 1058–1069. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2013.07872.x>
11. Phillips, S. J., & Dudík, M. (2008). Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, 31(2), 161–175. <https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.5203.x>
12. O'Neill, B. C., Tebaldi, C., van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., Knutti, R., Kriegler, E., Lamarque, J.-F., Lowe, J., Meehl, G. A., Moss, R., Riahi, K., & Sanderson, B. M. (2016). The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*, 9(9), 3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>
13. Riahi, K., van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., Bauer, N., Calvin, K., Dellink, R., Fricko, O., Lutz, W., Popp, A., Cuaresma, J. C., KC, S., Leimbach, M., Jiang, L., Kram, T., Rao, S., Emmerling, J., Ebi, K., Hasegawa, T., Havlik, P., Humenöder, F., Da Silva, L. A., Smith, S., Stehfest, E., Bosetti, V., Eomd, J., Gernaat, D., Masui, T., Rogelj, J., Streffer, J., Drouet, L., Krey, V., Luderer, G., Harmsen, M., Takahashi, K., Baumstark, L., Doelman, J. C., Kainuma, M., Klimont, Z., Marangoni, G., Lotze-Campenc, H., Obersteiner, M., Tabeau, A., & Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153–168. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
14. Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 37(12), 4302–4315. <https://doi.org/10.1002/joc.5086>
15. Cerasoli, F., D'Alessandro, P., & Biondi, M. (2022). Worldclim 2.1 versus Worldclim 1.4: Climatic niche and grid resolution affect between-version mismatches in habitat suitability models predictions across Europe. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8430. Portico. <https://doi.org/10.1002/ece3.8430>
16. Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E., Nakamura, M., Araújo, M. B., Peterson, A. T., Soberón, J., & Pearson, R. G. (2011). *Ecological Niches and Geographic Distributions* (MPB-49). <https://doi.org/10.1515/9781400840670>
17. Franklin, J. (2010). *Mapping Species Distributions*. <https://doi.org/10.1017/cbo9780511810602>
18. Robinet, C., & Roques, A. (2010). Direct impacts of recent climate warming on insect populations. *Integrative Zoology*, 5(2), 132–142. <https://doi.org/10.1111/j.1749-4877.2010.00196.x>
19. Lenoir, J., & Svenning, J. -C. (2014). Climate-related range shifts – a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography*, 38(1), 15–28. <https://doi.org/10.1111/ecog.00967>
20. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2021 – The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
21. Tarariko, O. H., Cruse, R. M., Ilienkov, T. V., Kuchma, T. L., Kozlova, A. O., Andereiev, A. A., Yatsiuk, V. M., & Velychko, V. A. (2024). Impact of climate changes on aggroresources of Ukrainian Polissia based on geospatial data. *Agricultural Science and Practice*, 11(2), 3–29. <https://doi.org/10.15407/agrisp11.02.003>
22. Wezel, A., Herren, B. G., Kerr, R. B., Barrios, E., Gonçalves, A. L. R., & Sinclair, F. (2020). Agroecological principles and elements and their implications for transitioning to sustainable food systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(6), 40. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00646-z>
23. Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, 190(3–4), 231–259. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026>
24. Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Tigchelaar, M., Battisti, D. S., Merrill, S. C., Huey, R. B., & Naylor, R. L. (2018). Increase in crop losses to insect pests in a warming climate. *Science*, 361(6405), 916–919. <https://doi.org/10.1126/science.aat3466>
25. Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D. B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.-L., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I. A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., Peng, S., Peñuelas, J., Ruane, A. C., Wallach, D., Wang, T., Wu, D., Liu, Z., Zhu, Y., Zhu, Z., & Asseng, S. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(35), 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>

ORCID

V. Lohvynenko 

<https://orcid.org/0009-0006-8299-6148>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Prospects of using agro-scouting methods in forecasting corn yield capacity

K. Kuriacha | M. Marenych

Article info

Correspondence Author

K. Kuriacha

E-mail:

kateryna.kuriacha@pdau.edu.ua

Poltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine**Citation:** Kuriacha, K., & Marenych, M. (2026). Prospects of using agro-scouting methods in forecasting corn yield capacity. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 13–18. doi: 10.31210/spi2026.29.01.02

Based on modern scientific publications, the analysis of methods for assessing the agro-meteorological indicators' impact on the formation of corn yield capacity was conducted; the methods of creating prognostic models with the use of regression analysis were also analyzed. The purpose of the studies was to determine the effect of distribution and the depth of precipitation in a definite locality. The materials for the research were the data of meteorological indicators from local weather stations during 2023–2025 and the actual data of enterprises' production agro-ecosystems concerning corn yield capacity. It has been found that as a result of unfavorable weather factors, yield losses can make 40–50 % and more in comparison with favorable time and space distribution. One of the indicators of yield stability can be the coefficient of variation, which under favorable conditions made 15 %, i.e. yield variability was average, and during the following years of studies the variation was considerable ($V\% = 21 \dots 39\%$). The use of data from the local meteorological stations, installed by agrarians enables to create a vast database for constructing models to form crop yield capacity. Quite a large number of such stations at modern enterprises make it possible to develop the models in space sense, thus, shortening the observations' duration, and in this way optimizing time aspect. The obtained data of observations enabled to make the conclusion concerning the limiting role of uneven geographical and time distribution of the depth of precipitation during corn vegetation period, which resulted in 40–50 % yield losses. Among the reliable indicators for yield forecasting can become the determining of monthly depth of precipitation during March – August period ($r = 0.29 \dots 0.51$), seasonal and pair monthly periods ($r = 0.31 \dots 0.57$). The average correlation was also observed with the sum of precipitation for the year and during the vegetation period – the coefficients made 0.41 and 0.49, respectively. The presence of considerable yield capacity correlation with the depth of precipitation in the early spring period proves the importance of their start character for corn areas in Poltava region, where agrarians often practice early spring sowing time. The presented research results are the evidence of large prospects for the use of agro-scouting methods on the example of measuring the depth of precipitation.

Keywords: corn, yield capacity, depth of precipitation, correlation, agro-scouting.

Перспективи використання методів агроскаутингу в прогнозуванні врожайності кукурудзи

K. О. Куряча | М. М. Маренич

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

На основі сучасних наукових публікацій проведено аналіз методик оцінки впливу агрометеорологічних показників на формування врожайності кукурудзи. Проаналізовані методи створення прогностичних моделей за допомогою регресійного аналізу. Метою досліджень було встановлення впливу розподілу й кількості опадів у конкретній місцевості. Матеріалом для досліджень стали дані метеорологічних показників локальних метеостанцій за 2023–2025 роки та фактичні дані виробничих агроцензів підприємств, які стосувалися врожайності кукурудзи. Встановлено, що в результаті несприятливих погодних факторів втрати врожайності можуть становити 40–50 % і більше порівняно зі сприятливим часово-просторовим розподілом. Одним з показників стабільності врожайності може бути коефіцієнт варіації, який за сприятливих умов становив 15 %, тобто мінливість урожайності була середньою, а в наступні роки досліджень варіація була значною – $V\% = 21 \dots 39\%$. Використання даних локальних метеорологічних станцій, які встановлюються аграріями дає змогу створити обширну базу даних для побудови моделей формування урожайності сільськогосподарських культур. Досить велика їхня кількість в сучасних підприємствах дає змогу зробити це в просторовому сенсі, зменшуючи, таким чином, тривалість спостережень, тобто оптимізуючи часовий аспект. Отримані дані спостережень дали змогу зробити висновок про обмежуючу роль нерівномірного географічно і часово розподілу кількості опадів протягом вегетаційного періоду кукурудзи, що призводило до втрати врожайності 40–50 %. Одними з надійних показників для прогнозування урожайності можуть стати визначення щомісячної кількості опадів протягом періоду березень – серпень ($r = 0,29 \dots 0,51$), сезонних та попарних місячних періодів ($r = 0,31 \dots 0,57$). Середня кореляція спостерігалася також з сумою опадів за рік і за вегетаційний період – коефіцієнти становили відповідно 0,41 і 0,49. Наявність істотної кореляції урожайності з кількістю опадів у ранньовесняний період свідчить про важливість їхнього стартового характеру для посівів кукурудзи в умовах Полтавської області, де аграрії часто практикують ранньовесняні строки сівби. Наведені результати досліджень свідчать про істотну перспективу застосування методів агроскаутингу на прикладі замірів кількості опадів.

Ключові слова: кукурудза, урожайність, кількість опадів, кореляція, агроскаутинг.

Бібліографічний опис для цитування: Куряча К. О., Маренич М. М. Перспективи використання методів агроскаутингу в прогнозуванні врожайності кукурудзи. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 13–18.

Вступ

Однією з найголовніших глобальних проблем сучасної цивілізації є продовольча безпека. Кукурудза, як одна з найважливіших продовольчих культур, вирізняється ще й досить високою пластичністю до умов вирощування, що особливо важливо для розширення посівних площ. Однак слід зауважити, що навіть унікальна стресостійкість культури до високих температур та дефіциту вологи не рятує від різких перепадів урожайності. Причиною цього є глобальні зміни клімату. В умовах України це виражається як у появі тривалих жарких періодів так і в нерівномірному географічному й часовому розподілі опадів.

Така проблема характерна не лише для України. Багато вчених зазначають, що частота і інтенсивність посух значно зросли на всій планеті в обох її півкулях. Так китайські вчені повідомляють про зниження врожайності внаслідок виникнення посух на 20–25 % [1, 2]. Вплив погодних умов слід розглядати в комплексі, оскільки саме поєднання показників має більший вплив ніж окремі екстремальні значення температур [3]. Ряд вчених прогнозує, що частота й інтенсивність посух під час вегетаційного періоду на європейському континенті буде тільки зростати [4]. Як зазначають чеські вчені вміст вологи в ґрунті протягом вегетаційного періоду зменшувався за останні шість десятиліть [5]. Таким чином, моніторинг агрометеорологічних факторів є важливим процесом з точки зору їх передбачення та розробки і застосування методів зменшення негативного впливу стресу. В цьому контексті вималюється одне з найголовніших вирішень – розуміння просторово-часової динаміки посухи та її потенційного впливу на виробництво сільськогосподарських культур [6].

Одним з шляхів досягнення цього є побудова регресійних моделей, які враховують часові й географічні мінливості зв'язків між врожайністю кукурудзи та метеорологічними показниками [7]. Dhaliwal & Williams (2024), використавши історичний набір даних для прогнозування врожайності, виокремили 67 змінних для моделі врожайності, які стосуються генетики сільськогосподарських культур, управління, погоди та ґрунтових факторів. Згідно їхніх даних кількість опадів за весь сезон та середня мінімальна температура під час цвітіння були двома найважливішими погодними змінними для прогнозування врожайності [8]. При цьому слід зазначити, що всі ці імовірнісні зв'язки є дуже нестабільними і залежать від особливостей факторів у конкретному регіоні. У зв'язку з цим вченими запропоновано комплексні фактори, наприклад сезонні градусо-дні вирощування (GDD), градусо-дні ураження (KDD), дефіцит тиску пари (VPD) та опади (PCPN), розподіл і накопичення температури протягом сезону вегетації [9, 10]. До цього можна додати також швидкість вітру, мінімальна температура, відносна вологість, кількість годин сонячного сяйва та максимальна температура [11]. Розроблена методологія складеному індексу вразливості, який включає в себе дані про врожайність сільськогосподарських культур на національному та субнаціональному рівнях [12].

Для побудови регресійних моделей важливим є отримання якомога точнішої інформації, використання наприклад, мережі метеостанцій. Це дало змогу розрахувати стандартизований індекс опадів (*SPI*), стандартизований індекс сільськогосподарських опадів (*aSPI*), індекс розвідувальної посухи (*RDI*) та ефективний індекс розвідувальної посухи (*eRDI*) з застосуванням множинних лінійних та нелінійних регресій [13].

Точність розрахунків залежить від зібраної бази даних – чим більша глибина аналізу метеопказників та врожайності тим більшою буде й точність прогностичної моделі. Зокрема Sgroi et al. (2021) використовували ретроспективу у 40 років [14], хоча методики оцінок точності таких моделей відсутні на сьогодні [15].

В умовах України найважливішими стресовими факторами є температура, кількість опадів і сума температур, яка за даними Muntian & Fedorchuk (2023) найбільше корелює з урожайністю [16]. Методами зменшення екологічного впливу можуть бути коригування строків сівби з визначенням норм висіву та підбір гібридів для вирощування, що впливає з досліджень полтавських науковців [17, 18]. Особливо важливим може бути моніторинг стану розвитку рослин, починаючи з ранніх періодів їхнього розвитку [19], на чому й може базуватися принцип підбору гібридів для вирощування [18, 20].

Вчені зазначають, що основною протипагою негативного впливу погодних факторів на врожайність кукурудзи є вдосконалення сільськогосподарських культур генетичним шляхом [21], дослідження морфологічно-фізіологічних та характеристик та динаміки біомаси рослин [22]. Особливо такі дослідження потрібно ретельно проводити в умовах богарного вирощування, що характерно, навіть, для розвиненого виробництва [23]. Для України, де вирощування кукурудзи також знаходиться в умовах браку вологи це питання звучить також дуже актуально, оскільки відсутність впливу метеорологічних факторів спостерігається лише в умовах зрошуваного землеробства [24].

Мета дослідження

Мета дослідження полягала у встановленні впливу одного з основних кліматичних факторів на формування врожайності кукурудзи в умовах нестійкого зволоження, застосовуючи часово-просторовий аналіз розподілу й кількості опадів у конкретній місцевості та визначенні ефективності методів агроסקаутингу за даними локальних метеорологічних станцій підприємств.

Матеріали і методи

Матеріалом для досліджень стали дані метеорологічних показників локальних метеостанцій за 2023–2025 роки та фактичні дані виробничих агроценів підприємств, які стосувалися врожайності кукурудзи. Враховуючи одноманітний розподіл високих температур, які припадали на фази розвитку рослин культури, основна увага зверталася на вплив кількості

і розподілу опадів протягом вегетаційного періоду кукурудзи. Також аналізувалися дані періодів, які передували сівбі або стосувалися пізніх стадій вегетації та збирання культури. Результати були опрацьовані методами регресійного аналізу.

Результати та їх обговорення

Період досліджень припав на 2023–2025 рр., які характеризувалися значною контрастністю за розподілом опадів. Температурний режим був практично однаковий для всіх локацій, з яких збиралася інформація, оскільки локальні опади не призводили до істотного зниження температури. Натомість часовий просторовий розподіл опадів значно відрізнявся. Як видно з *рисунку 1*, 2023 рік характеризувався значно більшою кількістю опадів у найважливіші періоди формування рослин та врожаю. У 2024 році кількість опадів у весняний період була на 26 мм меншою порівняно з попереднім роком. Під час літнього періоду вегетації 2024 рік виявився значно посушливішим – кількість опадів була меншою на 114 мм, в період формування зерна – на 28 мм. Цього року, наприклад, в локації полтавської метеостанції продуктивних опадів не спостерігалось з кінця травня до вересня.

У 2025 році різниця була не такою відчутною. Навіть у весняний період кількість опадів склала 111 мм, що було найвищим показником за роки досліджень. Менш відчутним був брак опадів під час літа та початку осені, однак в цьому випадку на зменшення врожайності значний вплив мали низькі температури та значні опади протягом ранніх фаз

розвитку рослин кукурудзи. Таким чином, в господарствах регіону спостерігалось зменшення врожайності, що досягало майже 50 % (*рис. 2*).

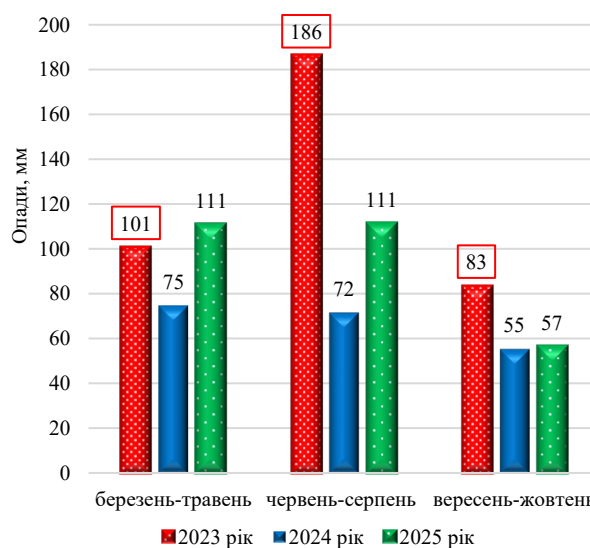


Рис. 1. Розподіл опадів за сезонами у роки досліджень

Проведений аналіз дав змогу зробити висновок, що головним обмежуючим чинником, який вплинув на динаміку формування врожайності був просторовий і часовий розподіл кількості опадів. В цьому аспекті в умовах нестійкого зволоження Лівобережного Лісостепу спостерігалася схожа тенденція з даними Javed et al. (2021) [6].

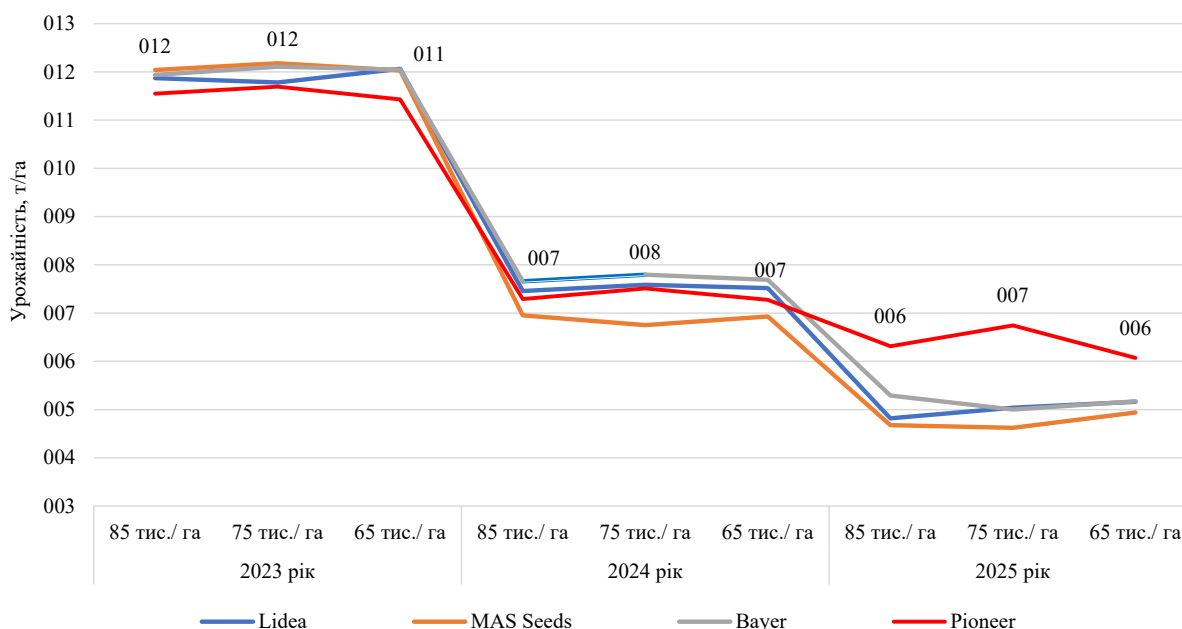


Рис. 2. Урожайність гібридів кукурудзи залежно від умов років вирощування

Аналіз врожайності показав, що в сприятливий рік коефіцієнт варіації становив 15 %, тобто мінливість урожайності була середньою. У наступні роки досліджень варіація була значною – 21 і 39 % відповідно (*табл. 1*). Такий стан речей зумовлює

можливості для прогнозування врожайності залежно від метеорологічних факторів з використанням регресійних моделей, що співпадає з даними Yang et al. (2022), [7] та Dhaliwal & Williams (2024) [8].

Таблиця 1

Середня урожайність кукурудзи в локаціях метеостанцій

Станція	Середня урожайність в локації за роками, т/га		
	2023	2024	2025
Глобине	10,4	6,9	4,3
Семенівка	9,4	8,4	4,46
Хорол	8,7	6,8	10,2
Шишаки	11,9	7,42	5,41
Котельва	10,8	5,87	3,82
Опішня	10,0	9,5	7,7
Гадяч	11,0	7,5	8,2
Веприк	11,0	6,8	7,5
Кобеляки	7,0	4,1	2,5
Миргород	7,5	4,5	5,1
Лубни	8,6	8,2	9,3
Оржиця	8,3	8,3	6
Лохвиця	9,3	7,1	7,5
Решетилівка	8,0	6,1	5,5
Велика Багачка	10,9	7,18	4,95
Березова Рудка	10,0	9,0	12,0
Полтава	9,0	6,0	5,0
Середнє	9,52	7,04	6,44
V, %	15	21	39

Парний кореляційний аналіз дав змогу встановити статистично істотні зв'язки між кількістю опадів та урожайністю кукурудзи. Як видно з даних **таблиці 2** це, як правило, пряма середня кореляція, при цьому увагу слід звертати не лише на кількість опадів у певний місяць вирощування, а й на певні періоди. Ці періоди можуть мати як сезонний характер (весна, літо, осінь), так і бути коротшими – по два місяці. Як зазначають Sgroi et al. (2021) [14], коротко масштабні показники є більш доцільними, однак в наших дослідженнях коефіцієнти кореляції не відрізнялися за величиною між собою, але така тенденція дає перспективу для збільшення бази даних з допомогою мережі метеостанцій. Окремо слід звернути увагу на існування прямої кореляції з кількістю опадів у березні, що характеризує важливість ролі накопичення вологи до сівби таких культур як кукурудза.

Таблиця 2

Кореляційний аналіз та рівняння залежності урожайності від кількості опадів за місяцями та періодами

Місяць	r (p<0,01)	Рівняння регресії
березень	0,29	$Y=0,08x+5,74$
квітень	0,51	$Y=0,07x+4,86$
липень	0,39	$Y=0,02x+6,50$
серпень	0,33	$Y=0,02x+6,83$
червень-серпень	0,40	$Y=0,01x+5,76$
вересень-жовтень	0,31	$Y=0,02x+6,35$
березень-квітень	0,57	$Y=0,06x+3,42$
червень-липень	0,35	$Y=0,02x+5,84$
липень-серпень	0,41	$Y=0,02x+6,38$
серпень-вересень	0,33	$Y=0,02x+6,60$
березень-квітень	0,57	$Y=0,06x+3,42$
червень-липень	0,36	$Y=0,02x+5,84$
липень-серпень	0,41	$Y=0,02x+6,38$
Сума за рік	0,49	$Y=0,01x+3,83$
Сума за вегетаційний період	0,41	$Y=0,01x+5,06$

В процесі збору даних слід звертати увагу й на інші показники, поряд з метеорологічними факторами враховувати різноманітні індекси наявності й стану

рослинності, як отримуються за допомогою супутникового чи іншого моніторингу посівів, розробляти моделі на основі врахування генетичних властивостей, агротехніки та особливостей родючості ґрунтів тощо, що також обговорюється рядом авторів [1, 9, 12, 15].

Характерним показником може стати величина коефіцієнта кореляції між весняними опадами й урожайністю кукурудзи в несприятливі роки. Свідченням цього була наявність сильної кореляції між кількістю опадів у квітні й досить прохолодних умовах в цілому несприятливого 2025 року (**рис. 3**). Таким чином роль температурного фактору може також зростати, що підтверджується результатами досліджень Muntian & Fedorchuk (2023) [16].

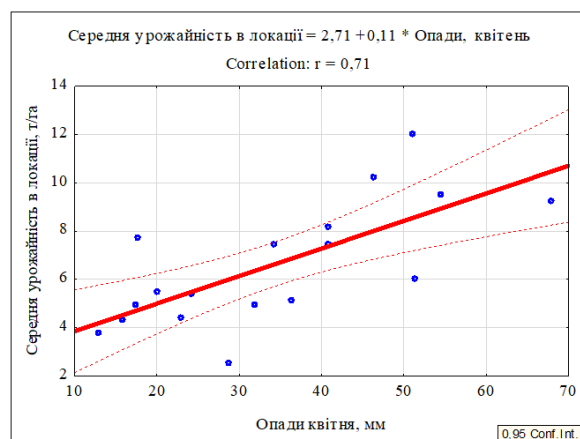


Рис. 3. Графік регресії урожайності від кількості опадів у квітні 2025 року

Загалом же й опади короткострокових періодів протягом місяця й опади триваліших періодів характеризувалися середнім прямим зв'язком. Такі кореляції стабільно проявлялися за роками, дещо затухаючи у 2023 році, який був найсприятливішим прооттягом проведення досліджень (**рис. 4**).

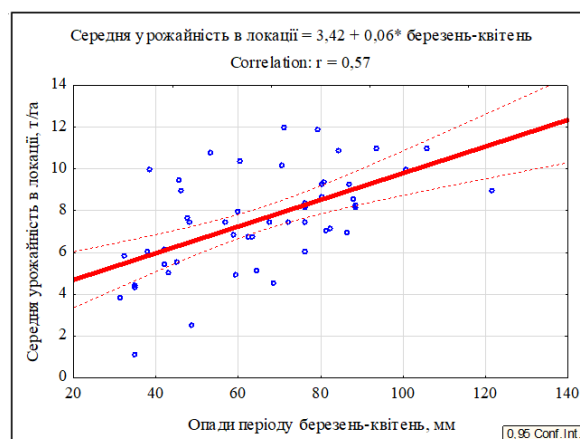


Рис. 4. Графік регресії урожайності від кількості опадів у ранньовесняний період

Такий підхід може бути корисним для створення регіональних систем прийняття рішень [14] і саме цього найпростіше досягти, запроваджуючи методи

агроскаутингу. Відразу необхідно зауважити, що збір і реєстрація даних повинні виконуватися ретельно й кваліфіковано персоналом, який має достатні знання і навички в цьому аспекті. Це особливо важливо в умовах відсутності рекомендацій та великої кількості методологій проведення аналізу.

Для прогнозування врожайності кукурудзи доцільно розробляти складніші ніж наведені в даній статті показники метеорологічних умов. Але ці показники можуть стати основою для створення власної, досить об'єктивної методики. Прикладом таких показників можуть бути описані Kloos et al. (2021) – температура поверхні ґрунту, його вологість, індекси температурних умов тощо. Локальні метеостанції можуть також надавати інформацію про швидкість вітру, відносну вологість, кількість годин сонячного саява та мінімальну й максимальну температуру [4, 11]. Особливо це важливо робити починаючи з ранніх етапів розвитку рослин, про що наголошували Vennam et al. (2023) [22]. Свідченням цього є й наявність середньої та сильної кореляції урожайності з ранньовесняними опадами в наведених дослідженнях. За даними Marenush et al. (2011) на формування врожайності кукурудзи впливають максимальні температури червня ($r = 0,22$) та негативний вплив – температури липня – серпня ($r = -0,42 \dots -0,33$) [25].

Особливо важливо наголосити, що в процесі здійснення агроскаутингу необхідно звернути також на біометричні показники, наприклад, висоти рослин, загальної сухої ваги та кількості насінин у рядку, загальної ваги качана, врожайності зерна, індексу врожаю, діаметра стебла та ваги качана із захисним листям. Також в процесі агроскаутингу доцільно фіксувати швидкість сходів, довжину проростків та їхню суху масу, довжину коренів [20, 19].

Висновки

Використання даних локальних метеорологічних станцій, які встановлюються аграріями дає змогу створити обширну базу даних для побудови моделей формування урожайності сільськогосподарських культур. Досить велика їхня кількість в сучасних підприємствах дає змогу зробити це в просторовому сенсі, зменшуючи, таким чином, тривалість спостережень, тобто оптимізуючи часовий аспект. Отримані дані спостережень дали змогу зробити висновок про обмежуючу роль нерівномірного географічно і часово розподілу кількості опадів протягом вегетаційного періоду кукурудзи, що призводило до втрати врожайності 40–50 %.

Одними з надійних показників для прогнозування урожайності можуть стати визначення щомісячної кількості опадів протягом періоду березень – серпень ($r = 0,29 \dots 0,51$), сезонних та попарних місячних періодів ($r = 0,31 \dots 0,57$). Середня кореляція спостерігалася також з сумою опадів за рік і за вегетаційний період – коефіцієнти становили відповідно 0,41 і 0,49. Наявність істотної кореляції урожайності з кількістю опадів у ранньовесняний період свідчить про важливість їхнього стартового характеру для посівів кукурудзи в умовах Полтавської області, де аграрії

часто практикують ранньовесняні строки сівби. Наведені результати досліджень свідчать про істотну перспективу застосування методів агроскаутингу на прикладі замірів кількості опадів.

Перспективи подальших досліджень полягають у можливості прогнозування врожайності сільськогосподарських культур за допомогою створення баз даних, що поєднуюватимуть у собі агрометеорологічні фактори, агрохімічні характеристики ґрунтів й біометричні показники рослин та інші фактори впливу на агроценози й їхні компоненти. Створення прогностичних моделей може стати однією з основ для розробки методик управління врожайністю в конкретних умовах вирощування.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Qiu, R., Li, X., Han, G., Xiao, J., Ma, X., & Gong, W. (2022). Monitoring drought impacts on crop productivity of the U.S. Midwest with solar-induced fluorescence: GOSIF outperforms GOME-2 SIF and MODIS NDVI, EVI, and NIRv. *Agricultural and Forest Meteorology*, 323, 109038. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109038>
2. Wang, Z., Zhang, T. Q., Tan, C. S., Xue, L., Bukovsky, M., & Qi, Z. M. (2021). Modeling impacts of climate change on crop yield and phosphorus loss in a subsurface drained field of Lake Erie region, Canada. *Agricultural Systems*, 190, 103110. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103110>
3. Li, E., Zhao, J., Pullens, J. W. M., & Yang, X. (2022). The compound effects of drought and high temperature stresses will be the main constraints on maize yield in Northeast China. *Science of The Total Environment*, 812, 152461. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152461>
4. Kloos, S., Yuan, Y., Castelli, M., & Menzel, A. (2021). Agricultural drought detection with MODIS based vegetation health indices in Southeast Germany. *Remote Sensing*, 13(19), 3907. <https://doi.org/10.3390/rs13193907>
5. Meitner, J., Balek, J., Bláhová, M., Semerádová, D., Hlavinka, P., Lukas, V., Jurečka, F., Žalud, Z., Klem, K., Anderson, M. C., Dorigo, W., Fischer, M., & Trnka, M. (2023). Estimating drought-induced crop yield losses at the cadastral area level in the Czech Republic. *Agronomy*, 13(7), 1669. <https://doi.org/10.3390/agronomy13071669>
6. Javed, T., Zhang, J., Bhattarai, N., Sha, Z., Rashid, S., Yun, B., Ahmad, S., Henchiri, M., & Kamran, M. (2021). Drought characterization across agricultural regions of China using standardized precipitation and vegetation water supply indices. *Journal of Cleaner Production*, 313, 127866. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127866>

7. Yang, B., Wu, S., & Yan, Z. (2022). Effects of climate change on corn yields: Spatiotemporal evidence from geographically and temporally weighted regression model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(8), 433. <https://doi.org/10.3390/ijgi11080433>
8. Dhaliwal, D. S., & Williams, M. M. (2023). Sweet corn yield prediction using machine learning models and field-level data. *Precision Agriculture*, 25(1), 51–64. <https://doi.org/10.1007/s11119-023-10057-1>
9. Jiang, H., Hu, H., Li, B., Zhang, Z., Wang, S., & Lin, T. (2021). Understanding the non-stationary relationships between corn yields and meteorology via a spatiotemporally varying coefficient model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 301–302, 108340. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2021.108340>
10. Ortiz, O. A., Lindsey, A. J., Thomison, P. R., Coulter, J. A., Singh, M. P., Carrijo, D. R., Quinn, D. J., Licht, M. A., & Bastos, L. (2023). Corn response to long-term seasonal weather stressors: A review. *Crop Science*, 63(6), 3210–3235. <https://doi.org/10.1002/csc2.21101>
11. Wang, X., Li, X., Gu, J., Shi, W., Zhao, H., Sun, C., & You, S. (2023). Drought and waterlogging status and dominant meteorological factors affecting maize (*Zea mays* L.) in different growth and development stages in Northeast China. *Agronomy*, 13(2), 374. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020374>
12. Achli, S., Epule, T. E., Dhiba, D., Chehbouni, A., & Er-Raki, S. (2022). Vulnerability of barley, maize, and wheat yields to variations in growing season precipitation in Morocco. *Applied Sciences*, 12(7), 3407. <https://doi.org/10.3390/app12073407>
13. Omar, L.-C., Mariano, N.-C., Alberto, G., Ernestina, P.-G., Jorge, M.-M., & Enrique, T.-D. (2022). Sensitivity of four indices of meteorological drought for rainfed maize yield prediction in the state of Sinaloa, Mexico. *Agriculture*, 12(4), 525. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040525>
14. Sgroi, L. C., Lovino, M. A., Berbery, E. H., & Müller, G. V. (2021). Characteristics of droughts in Argentina's core crop region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2475–2490. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2475-2021>
15. Fitzgibbon, A., Pisut, D., & Fleisher, D. (2022). Evaluation of maximum entropy (Maxent) machine learning model to assess relationships between climate and corn suitability. *Land*, 11(9), 1382. <https://doi.org/10.3390/land11091382>
16. Muntian, S. V., & Fedorchuk, M. I. (2023). Impact of meteorological conditions on yield of winter wheat, maize and winter oil seed rape with using nitrification inhibitor with combined application with UAN-32. *Agrarian Innovations*, 21, 64–69. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.21.9>
17. Hanhur, V., & Pelykh, M. (2025). The influence of sowing dates and plant density on the yield of corn hybrids in the conditions of the Left Bank Forest-Steppe. *Scientific Progress & Innovations*, 28(1), 75–80. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.01.13>
18. Yurchenko, S., Stepanenko, B., & Khachaturian, A. (2024). Grain yield of corn hybrids depends on their maturity group. *Scientific Progress & Innovations*, 27(4), 66–71. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.11>
19. Vilas-Boas, J. K., Steiner, F., Zuffo, A. M., Aguilera, J. G., & Alves, C. Z. (2025). Tolerance of high-yielding corn hybrids to drought stress during the early growth stage. *Revista Ciência Agronômica*, 56, 1–10. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20250040>
20. Khatibi, A., Omrani, S., Omrani, A., Shojaei, S. H., Illés, Á., Bojtór, C., Mousavi, S. M. N., & Nagy, J. (2023). Study of drought stress correlation on yield and yield components of maize cultivars (*Zea mays* L.). *Acta Agraria Debreceniensis*, 1, 67–73. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/11495>
21. Bundy, L. R., & Gensini, V. A. (2022). An assessment of USDA corn condition ratings across the U.S. Corn Belt. *Agronomy Journal*, 114(1), 601–617. <https://doi.org/10.1002/agj2.20973>
22. Vennam, R. R., Ramamoorthy, P., Poudel, S., Reddy, K. R., Henry, W. B., & Bheemanahalli, R. (2023). Developing functional relationships between soil moisture content and corn early-season physiology, growth, and development. *Plants*, 12(13), 2471. <https://doi.org/10.3390/plants12132471>
23. Fu, P., Jaiswal, D., McGrath, J. M., Wang, S., Long, S. P., & Bernacchi, C. J. (2021). Drought imprints on crops can reduce yield loss: Nature's insights for food security. *Food and Energy Security*, 11(1), e332. <https://doi.org/10.1002/fes3.332>
24. Vozhehova, R. A., Lavrynenko, Yu. O., Marchenko, T. Yu., Boiarkina, L. V., Sharii, V. O., & Bidnyina, I. O. (2023). Comparative analysis of yield formation of corn hybrids of different FAO groups under drip irrigation. *Agrarian Innovations*, 18, 24–31.
25. Marenych, M. M., Verevska, O. V., & Shkurko, V. S. (2011). *Prohnozuvannia vrozhaivosti silskohospodarskykh kultur*. Poltava : Simon [in Ukrainian]

ORCID

K. Kuriacha 
M. Marenych 

<https://orcid.org/0009-0008-4665-9835>

<https://orcid.org/0000-0002-8903-3807>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Effectiveness of optimized elements of hemp (*Cannabis sativa*) cultivation technology

O. Ovsianyk✉

Article info

Correspondence Author

O. Ovsianyk

E-mail:

oleksandr.ovsianyk@pdau.edu.ua

Poltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine**Citation:** Ovsianyk, O. (2026). Effectiveness of optimized elements of hemp (*Cannabis sativa*) cultivation technology. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 19–23. doi: 10.31210/spi2026.29.01.03

Based on modern literary sources the problems are described as to hemp sown areas protection against segetal vegetation, the optimization of plants' fertilization system applying growth stimulators in case of their use for pre-sowing seed treatment and foliar application. It is stressed that a high level of technologies requires the detailed planning and economic analysis, which take place in the process of developing technological cultivation maps or the so called crop budget; however, there are many approaches to the objective assessment of economic indicators. In the researches, which combined the study of seed sowing rates' effect as well as the application of growth stimulators and herbicides, the indicators of their use economic efficiency were determined. It was found that in the structure of production expenses of hemp cultivation, the main share made the buying and applying fertilizers – 64 %. Moreover, 25 % of all spending constituted the seeds, and the overall expenses on protection preparations, including herbicides did not exceed 6% of the total expenditures. Under the conditions of unstable moistening, the decrease in the seed sowing rates to 1 mln/ha is economically rational, which is also important considering ecological and economic approach to developing the cultivation technologies. The use of decreased sowing rates resulted in rising the indicator of net profit by 1.5 thousand hrn/ha. The effectiveness was found as to the use of humic growth stimulators for the seed pre-sowing treatment and foliar application in combination with other preparations, which are used for the protection of agro-ecosystems against diseases and pests. It is noted that the application of certain stimulators can lead to the increase in straw yield, and of the other ones – in seed yield, as it happened with the variants of Zinovii grand (1 kg/t) + Zinovii grand (2 kg/ha) and 1R Seed treatment (1 kg/t) + Ultra Boost (2 l/ha). The use of these substances can result in the growth of the net profit by 11 thousand hrn/ha. In order to get high and stable harvests of dual-purpose hemp, it is expedient to use pre-sowing seed treatment with humic preparations. The control over segetal vegetation with the help of herbicides allowed obtain net profit by 10 thousand hryvnias or 25 % more in comparison with the variants where herbicides were not applied.

Keywords: hemp, variety, weeds, herbicides, sowing rates, fertilization, stimulators, economic efficiency.Ефективність оптимізованих елементів технології вирощування конопель посівних (*Cannabis sativa*)

О. О. Овсяник

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

На основі сучасних літературних джерел описана проблематика застосування захисту посівів конопель від сеgetальної рослинності, оптимізації системи живлення рослин за допомогою стимуляторів росту у разі їхнього використання для передпосівної обробки насіння та позакореневого застосування. Наголошено, що високий рівень технологій потребує детального планування і економічного аналізу, що відбувається в процесі складання технологічних карт вирощування чи так званого бюджету культур, однак для об'єктивної оцінки економічних показників існують багато підходів. У дослідженнях, які поєднували вивчення впливу норм висіву насіння, застосування стимуляторів росту й гербіцидів, було визначено показники економічної ефективності їхнього використання. Встановлено, що в структурі виробничих затрат вирощування конопель посівних основну частку займає придбання й застосування добрив – 64 %. При цьому 25 % усіх витрат припадає на насіння, а загальні витрати на препарати захисту, включаючи гербіциди, не перевищували 6 % від загальних витрат. В умовах нестійкого зволоження є економічно раціональним зменшення норм висіву насіння до 1 млн/га, що є також актуальним з точки зору еколого-економічного підходу до розробки технологій вирощування. Використання зменшених норм висіву сприяло збільшенню показника чистого доходу на 1,5 тис. грн/га. Встановлена ефективність використання стимуляторів росту гумінової природи для передпосівної обробки насіння та позакореневої листової аплікації в поєднанні з іншими препаратами, які використовувалися для захисту агроценозів від хвороб і шкідників. Використання цих речовин може сприяти збільшенню чистого доходу на 11 тис. грн/га. Відмічено, що окремі стимулятори можуть сприяти збільшенню врожайності соломки, а інші – насіння, як це відбулося на варіантах Zinovii grand (1 кг/т) + Zinovii grand (2 кг/га) й 1R Seed treatment (1 кг/т) + Ultra Boost (2 л/га). Для отримання високих і стабільних врожаїв конопель посівних подвійного призначення доцільно використовувати передпосівну обробку насіння препаратами гумінової природи. Контроль сеgetальної рослинності за допомогою гербіцидів дозволив отримати чистий дохід на 10 тис. грн або на 25 % більший порівняно з варіантами, де гербіциди не використовувалися.

Ключові слова: коноплі посівні, сорт, бур'яни, гербіциди, норми висіву, удобрення, стимулятори, економічна ефективність.**Бібліографічний опис для цитування:** Овсяник О. О. Ефективність оптимізованих елементів технології вирощування конопель посівних (*Cannabis sativa*). *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 19–23.

Вступ

Незважаючи на досить усталене уявлення про коноплі посівні як культуру, стійку до наявності в посівах бур'янів, вони потребують інтенсивного гербіцидного захисту. В сучасних наукових періодичних виданнях відчувається брак інформації щодо втрат врожайності внаслідок забур'яненості [1, 2]. Конкуренція культурних рослин деякою мірою збільшується за умов використання збільшення норм висіву насіння, однак у цьому випадку зростають затрати на посівний матеріал і препарати, які використовуються для його підготовки [3]. Таким чином, можна зробити певні висновки про брак стратегій боротьби з бур'янами [4–6].

Гербіциди дають змогу ефективніше використовувати добрива, оскільки підконтрольна сегетальна рослинність використовуватиме поживні речовини на власний ріст менше [7]. Добрива, як відомо, є найефективнішим важелем формування врожайності й водночас потребують максимальних затрат [8]. При цьому слід наголосити, що коноплі посівні потребують високих норм добрив [9, 10] для формування не лише валового збору продукції, а й показників її якості [11–14]. Забезпечення рослин конопель поживними речовинами дозволяє також зменшити витрати на придбання фунгіцидів [15–19].

Важливим шляхом збільшення економічної ефективності добрив є використання стимуляторів росту на основі гумінових речовин [20, 21], хоча слід зазначити, що на виробництві ця група стимуляторів сприймається досить стримано через їхню значну вартість та досить часту відсутність очікуваного ефекту. Однак на ранніх етапах проростання і розвитку рослин вони можуть бути дуже корисними, як і у випадках стійкості рослин до різного роду стресів [22].

Сорти конопель можуть по-різному реагувати на норми висіву насіння. Збільшення норм висіву насіння до 2 млн./га призводило до погіршення освітлення посівів, випадання деяких рослин і зменшення їхньої висоти, що позначалося на якості продукції, передчасному досягненню рослин [9, 24], що й спостерігалось в умовах 2024 року в описаних дослідженнях. Враховуючи вартість посівного матеріалу конопель посівних і ефективність використання високих норм висіву, треба зробити висновок, що цей чинник є одним з найголовніших, який формує економічну ефективність вирощування конопель посівних.

Мета дослідження

Мета досліджень – визначити економічну ефективність: застосування норм гербіцидів для контролю за сегетальною рослинністю; використання стимуляторів росту для оптимізації системи удобрення посівів; управління урожайністю посівів за допомогою норм висіву.

Завдання досліджень: на основі складених технологічних карт розрахувати показники економічної ефективності відповідно до пунктів окреслених завдань програми досліджень.

Матеріали і методи

Матеріалом для визначення показників економічної ефективності стали результати дослідів із застосуванням гербіцидів, стимуляторів росту та нормами висіву насіння конопель посівних. У зв'язку з відсутністю єдиної методики розрахунку економічних показників вирощування була використана методика економічної оцінки технологій вирощування сільськогосподарських культур, елементи економічного аналізу збирання і переробки насіннєвих конопель [25, 26] та економічний аналіз технології вирощування за методикою конкретного підприємства [27].

Результати та їх обговорення

Економічна ефективність вирощування сільськогосподарських культур в нинішніх умовах розраховується за різними методиками. Це залежить від структури підприємства, його статусу, розміру, кадрового складу та багатьох інших факторів. Багато господарств навіть не створюють технологічних карт, діючи в технологіях часто ситуативно, що досить часто має реальний позитивний ефект.

В представлених дослідженнях використані матеріали технологічних карт з технологічними операціями конкретного досить енергоозброєного підприємства. Безумовно, в бюджеті вирощування культур необхідно враховувати не лише операційні прийоми, а й допоміжні роботи, логістику тощо, які є, за великим рахунком, однакові для всіх варіантів дослідів, відрізняючись лише певною різницею у обсягах добрив, насіння, препаратів та урожайності продукції. Тому дані розрахунки описують лише ту частину технологічного процесу, яка стосується впливу факторів вирощування.

Також в даній статті сконцентрована увага на варіантах досліджень, які мали найкращі показники порівняно з контрольними варіантами. Раціональним підходом до розрахунку економічних показників є також закладання дещо збільшених затрат і прогнозування мінімальних показників доходу, щоб убезпечитися від непередбачуваних економічних ризиків.

Структура витрат у технологіях вирощування в загальному її вигляді зображена на **рисунку 1**.

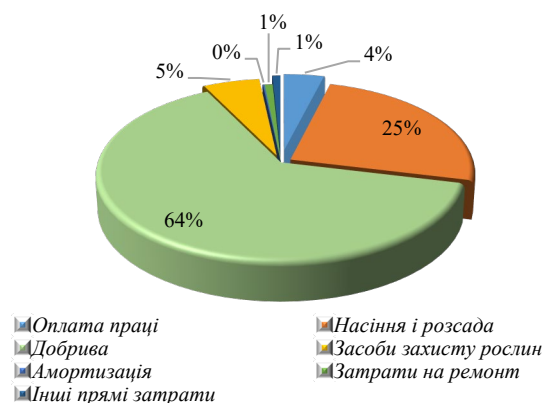


Рис. 1. Структура виробничих затрат в технологіях вирощування конопель подвійного використання

Як видно з нього, найбільшу частку витрат тягне за собою використання добрив, а враховуючи високу вартість цього засобу управління врожайністю необхідно розробляти шляхи оптимізації. Стаття «Насіння і розсада» передбачає, що чверть бюджету вирощування конопель посівних використовувалася на придбання насіннєвого матеріалу. На придбання засобів захисту використано лише близько 6 % від загального обсягу бюджету культури, що підтверджує думку про коноплі посівні як про дуже пластичну й стійку до дії шкідливих організмів культуру. Також вони не потребують істотних затрат на оплату праці, що в економічному сенсі дає змогу маневрування Коштами для стимуляції працівників.

Як видно з **рисунку 2**, використання зменшених норм висіву насіння призвело до певного зменшення врожайності насіння – на 0,2 т/га. Застосування передпосівної обробки насіння стимуляторами росту та повторне їхнє внесення по листу разом з препаратами захисту рослин сприяло збільшенню врожайності насіння на 0,4 т/га. Ефективним також виявилось й використання гербіцидів – порівняно з контролем урожайність насіння культури зростала на 0,1–0,2 т/га й найефективніше діяв Зенкор Ліквід, який застосовувався у нормі 0,5 л/га.

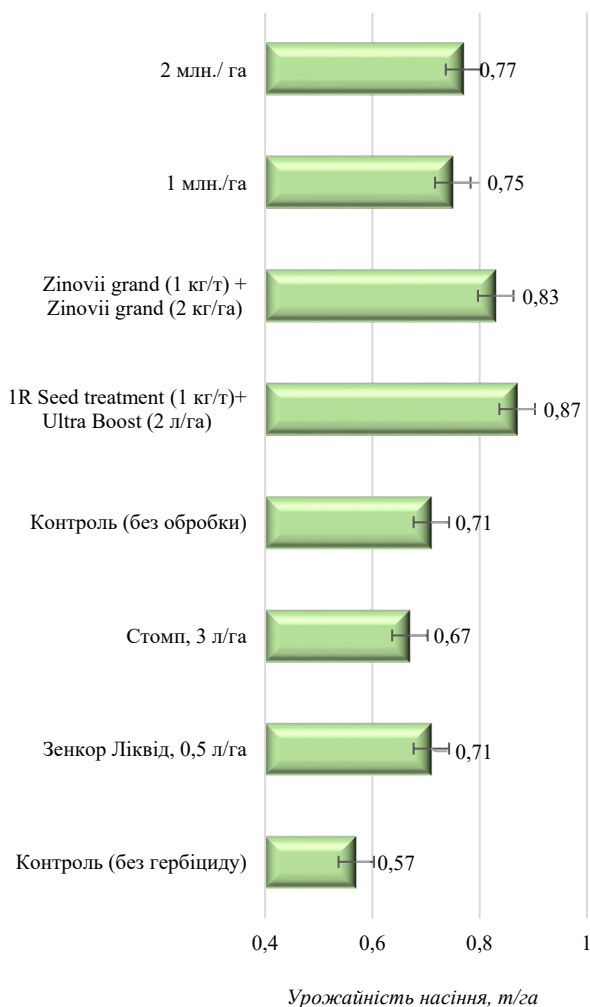


Рис. 2. Вплив елементів технології на формування врожайності насіння

Аналіз економічних показників (**рис. 3**) продемонстрував, що зменшення норм висіву сприяло зменшенню виробничих затрат на 1 га на 2,6 тис. грн, при цьому на 1,6 тис. грн зменшилася й вартість продукції з одиниці площі. Використання стимуляторів росту збільшило виробничі затрати в разі використання 1R Seed treatment (1 кг/т)+ Ultra Boost (2 л/га) майже на 2 тис. грн/га й практично не змінило цю статтю стосовно використання Zinovii grand (1 кг/т) + Zinovii grand (2 кг/га). Показово, що вартість продукції з 1 га зросла на 9,6–12,8 тис. грн/га в результаті використання Zinovii grand й 1R Seed treatment + Ultra Boost відповідно. Ефективність використання гербіцидів була помітнішою – виробничі затрати вирости на 0,9–1,8 тис. грн/га, а показник вартості продукції збільшився на 8,0 і 11,2 тис. грн/га.

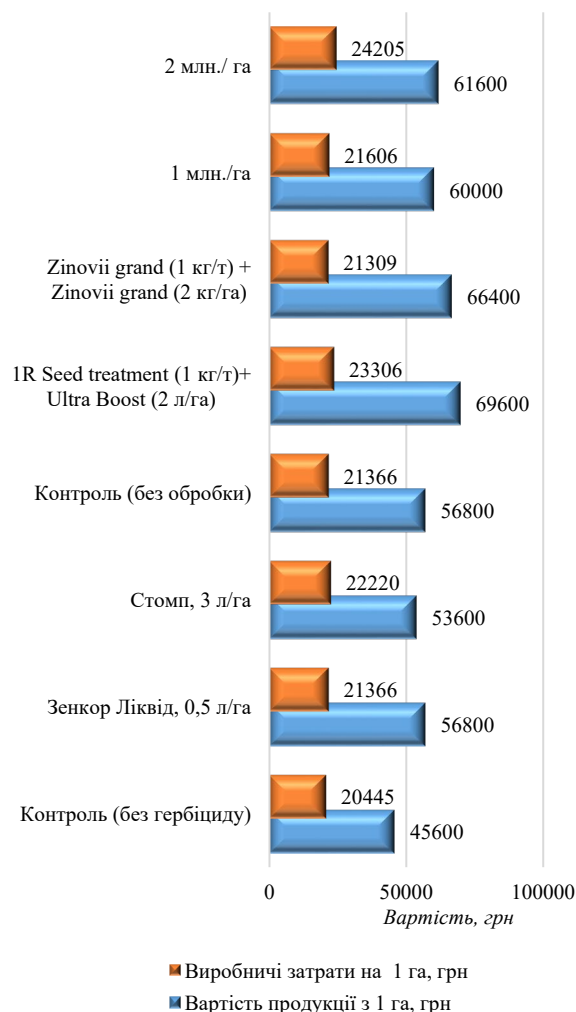


Рис. 3. Вплив елементів технології на формування виробничих затрат і вартості продукції з 1 га

Однак в розрахунках економічної ефективності зменшення норми висіву сприяло деякому збільшенню показника чистого доходу (**рис. 4**). Використання норми 1 млн. насінин/га сприяло збільшенню отриманої вартості від урожайності соломи на 556 грн/га, а від урожайності насіння – на 1 тис. грн, таким чином, збільшуючи загальний показник чистого доходу майже на 1,5 тис. грн/га.

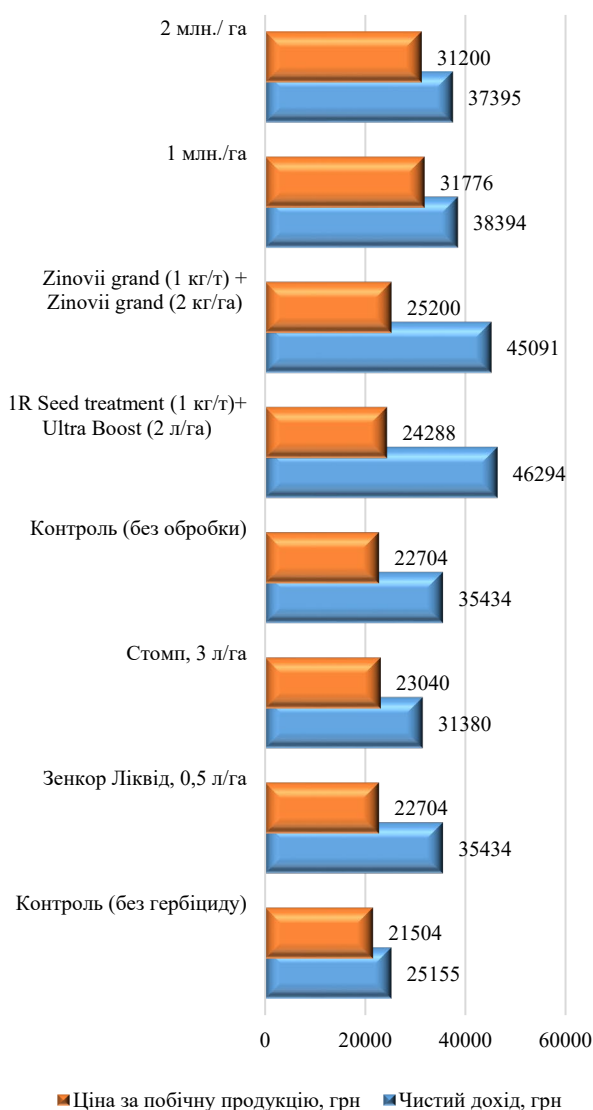


Рис. 4. Вплив елементів технології на формування чистого доходу з 1 га

На варіантах з використанням стимуляторів росту було досягнуто збільшення вартості соломки на 1,584 й 2,496 грн/га відповідно від застосування стимуляторів 1R Seed treatment + Ultra Boost й Zinovii grand + Zinovii grand. Збільшення чистого доходу за рахунок збільшення врожайності становило 10,9 і 9,66 тис. грн/га. Таким чином, використання стимуляторів росту є досить ефективним для отримання додаткового чистого доходу і слід врахувати те, що одні з них можуть впливати на формування вегетативної маси рослин, а інші – на генеративну частину. Це особливо слід врахувати для розробки технологій вирощування конопель цільового призначення.

Застосування гербіцидного захисту дало змогу збільшити вартість отриманого врожаю соломки конопель на 1536 грн/га в разі використання Стомпу в нормі 3 л/га та 1,2 тис. грн на варіантах з використанням Зенкор Ліквід в нормі 0,5 л/га. Застосування другого гербіциду сприяло й формуванню найбільшого чистого доходу, який перевищив 10 тис. грн/га.

Висновки

1. Зменшення норми висіву насіння в умовах нестійкого зволоження й імовірного одночасного водного й температурного стресу до 1 млн. насінин/га є економічно доцільним, що відповідає нинішнім критеріям еколого-економічного підходу до розробки технологій вирощування сільськогосподарських культур, забезпечуючи зростання чистого доходу до 1,5 тис. грн/га.

2. Для отримання високих і стабільних врожаїв конопель посівних подвійного призначення доцільно використовувати передпосівну обробку насіння препаратами гумінової природи, що забезпечувало збільшення економічних показників в загальному на 9–11 тис. грн/га. При цьому слід враховувати напрям дії стимуляторів, оскільки деякі з них можуть мати кращий вплив на формування вегетативної маси, а інші – на врожайність насіння.

3. Агроценози конопель посівних потребують інтенсивного гербіцидного захисту. Використання цього агротехнічного прийому дало змогу отримати додатковий чистий дохід на рівні 10 тис. грн/га порівняно з безгербіцидною технологією вирощування, що може становити майже 25 %.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автор заявляє, що не використовував штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

- Sandler, L. N., & Gibson, K. A. (2019). A call for weed research in industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Weed Research*, 59(4), 255–259. <https://doi.org/10.1111/wre.12368>
- Jankauskienė, Z., Gruzdevienė, E., & Lazauskas, S. (2014). Sėjamosios kanapės (*Cannabis sativa* L.) pluoštinų genotipų piktyzolių stebimo potencialas. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101(3), 265–270. <https://doi.org/10.13080/z-a.2014.101.034>
- Ambroziak, K., Kozera, W., Ambroziak, K., & Wenda-Piesik, A. (2023). Regulating the plant density influences to the weed infestation, productivity and chemical composition of seeds of true hemp *Cannabis sativa* L. *Journal of Elementology*, 3/2023, 619–631. <https://doi.org/10.5601/jelem.2023.28.3.2425>
- Zaric, M., Canella Vieira, B., Houston, B., Sousa Alves, G., Wortman, S. E., Peterson, J., & Kruger, G. R. (2024). Industrial hemp biomass negatively affected by herbicide drift from corn and soybean herbicides. *Scientific Reports*, 14(1), 28148. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-78209-5>

5. Singh, G., Slonecki, T., Wadl, P., Flessner, M., Sosnoskie, L., Hatterman-Valenti, H., Gage, K., & Cutulle, M. (2024). Implementing digital multispectral 3D scanning technology for rapid assessment of hemp (*Cannabis sativa* L.) weed competitive traits. *Remote Sensing*, 16(13), 2375. <https://doi.org/10.3390/rs16132375>
6. Shikanai, A., & Gage, K. L. (2022). Allelopathic potential of hemp: Implications for Integrated weed management. *Frontiers in Agronomy*, 4, 832471. <https://doi.org/10.3389/fagro.2022.832471>
7. Kousta, A., Papastylianou, P., Çetimoğlu, N., Travlos, I., Kakabouki, I., & Bilalis, D. (2020). Effect of fertilization and weed management on weed flora of hemp crop. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Horticulture*, 77(2), 44–51. <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-hort:2020.0013>
8. Prymakov, O. A., & Kozorizenko, M. P. (2015). Analiz struktury vytrat na vyroshchuvannya tekhnichnykh konopel. *Lubiani ta Tekhnichni Kultury*, 4, 151–158. [in Ukrainian]
9. Kabanets, V. M. (2017). Vplyv dobryv i norm vysivu nasinnia na produktyvnist roslyn konopel sortu Hliana. *Ahropromyslove Vyrobnystvo Polissia*, 10, 42–45. [in Ukrainian]
10. Tang, K., Struik, P. C., Yin, X., Thouminot, C., Bjelková, M., Stramkale, V., & Amaducci, S. (2016). Comparing hemp (*Cannabis sativa* L.) cultivars for dual-purpose production under contrasting environments. *Industrial Crops and Products*, 87, 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.026>
11. Leoni, M., Musio, S., Croci, M., Tang, K., Magagnini, G. M., Thouminot, C., Müssig, J., & Amaducci, S. (2022). The effect of agronomic management of hemp (*Cannabis sativa* L.) on stem processing and fibre quality. *Industrial Crops and Products*, 188, 115520. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115520>
12. Laiko, I. M., & Mishchenko, S. V. (2024). Breeding peculiarities of the manifestation of hemp fiberness signs. *Faktori Eksperimental'noi Evolucii Organizmiv*, 35, 29–34. <https://doi.org/10.7124/feco.v35.1654>
13. Campiglia, E., Radicetti, E., & Mancinelli, R. (2017). Plant density and nitrogen fertilization affect agronomic performance of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) in Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, 100, 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.02.022>
14. Sausserde, R. (2013). Effect of nitrogen fertilizer rates on industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) biomass production. *13th SGEM GeoConference on ecology, economics, education and legislation*, 1. <https://doi.org/10.5593/sgem2013/be5.v1/s20.045>
15. Kabanets, V. M., & Berdin, S. I. (2020). Influence of invariable crops of hemp on agrochemical indicators of an arable layer of soil. *agrarian innovations*, 3, 33–38. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2020.3.6>
16. Kabanets, V. M. (2017). Vplyv mikroelementiv ta vapnuvannya na okupnist dobryv pry vyroshchuvanni konopel posivnykh v monokulturi. *Lubiani ta Tekhnichni Kultury*, 5, 163–168. [in Ukrainian]
17. Laiko, H. (2024). Vplyv systematichnoho vnesennia dobryv na zminy osnovnykh vlastyvostei hruntu i produktyvnist za bezzminnohokultyvuvannya konopel (do 90 richchia doslidu). In: *Naukove zabezpechennia rozvytku konopliarstva u XXI stolitti*. (p. 80–101). <https://doi.org/10.48096/monograph.2024.80-101>
18. Piskovyi, M. B., Mahda, M. A., Pylypchenko, A. V., & Sytnyk, V. P. (2017). Influence of growing technologies of hemsps on the nourishing state of soil. *Scientific Progress & Innovations*, 1-2, 18–23. <https://doi.org/10.31210/visnyk2017.1-2.03>
19. Kakabouki, I., Kousta, A., Folina, A., Karydogianni, S., Zisi, C., Kouneli, V., & Papastylianou, P. (2021). Effect of fertilization with urea and inhibitors on growth, yield and CBD concentration of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Sustainability*, 13(4), 2157. <https://doi.org/10.3390/su13042157>
20. Šerá, B., & Novák, F. (2021). Stimulation of seed germination and early growth by humic substances on poppy, pepper, rape, and hemp. *Biologia*, 77(3), 641–648. <https://doi.org/10.1007/s11756-021-00952-1>
21. Bernstein, N., Gorelick, J., Zerahia, R., & Koch, S. (2019). Impact of N, P, K, and humic acid supplementation on the chemical profile of medical cannabis (*Cannabis sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10, 736. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00736>
22. Rezaghiyan, A., Esmaeili, H., Farzaneh, M., & Rezadoost, H. (2024). The interaction effect of water deficit stress and nanosilicon on phytochemical and physiological characteristics of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 217, 109298. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109298>
23. Kabanets, V. M. (2017). Formation of parameters of hemp of glyana variety depending on technological measures. *Bulletin of Uman National University of Horticulture*, 2, 36–40. Retrieved from: <https://journals.udau.cherkasy.ua/index.php/visnyk/article/view/344>
24. Halker, C. A. P., Woodley, A. L., Reberg-Horton, S. C., Henriquez Inoa, S., & Suchoff, D. H. (2024). Evaluating Chinese fiber hemp (*Cannabis sativa* L.) varieties and planting dates in North Carolina. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 7(3), e20569. <https://doi.org/10.1002/agg2.20569>
25. Koropchenko, S. P., Hiliazetdinov, R. N., Barannyk, V. H., & Khylevych, V. S. (2004). Ekonomichnyi analiz tekhnolohii zbyrannia ta pererobky nasinnievnykh konopel. *Nove v selektsii, henetytsi, tekhnolohii vyroshchuvannya, zbyrannia, pererobtsi ta standartyzatsii lubianykh kultur : naukovo-tehnichna konferentsiia molodykh vchenykh* (S. 144–147). Hlukhiv: ILK UAAN [in Ukrainian]
26. Prymakov, O. A., Marynchenko, I. O., & Kozorizenko, M. P. (2014). Ekonomichna efektyvnist konoplianoi haluzu v suchasnykh umovakh vyrobnytstva. *Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho Universytetu Tekhnolohii Ta Dyzainu*, 1, 84–89. [in Ukrainian]
27. Pylypchenko, A. V., & Piskovyi, M. B. (2021). Economic, ecological and energy efficiency of hemp cultivation using organic farming technologies. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 21–27. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.02>

ORCID

O. Ovsianyk 

<https://orcid.org/0009-0009-7476-1826>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Efficiency of the application of bio preparations for managing the development of tomato diseases

O. Chaiuk  | E. Chumak

Article info

Correspondence Author

O. Chaiuk

E-mail:

iob.vchena@gmail.comInstitute of Vegetable and
Melon Growing of the NAAS
1, Institutskaya st.,
Selektsiynе, Kharkiv rg,
62478, Ukraine**Citation:** Chaiuk, O., & Chumak, E. (2026). Efficiency of the application of bio preparations for managing the development of tomato diseases. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 24–29. doi: 10.31210/spi2026.29.01.04

Tomato is one of the leading vegetable crops, but significant damage to its harvest is caused by the development of diseases, the losses from which can reach 30 %. In this regard, studies are relevant to establish the effectiveness of the use of biological products to limit the development of major tomato diseases in open ground conditions and increase their yield. According to the results of phytosanitary monitoring of tomato crops in open ground conditions during the growing seasons of 2024–2025, it was established that the dominant fungal disease in the agroecosystem is early dry spot or alternariosis (*Alternaria solani* Ell. et Mart.). In the fruit formation phase, the prevalence of the disease on average over the years of research was 88,1 %, and the intensity of development was 32,3 %. Anthracnose damage to tomato fruits was noted (*Colletotrichum coccodes* (Wallr.) Hughes). The prevalence of the disease was 20,0 % with an intensity of development of 14,8 %. Bacterial diseases were represented by pathogens of wet bacterial rot (*Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*) and black bacterial spot (*Xanthomonas vesicatoria* Doidge). The prevalence of wet bacterial rot reached 23,0 %, and black bacterial spot did not exceed 10,0 %. It was established that the treatment of plants with biological products significantly reduces the development of tomato diseases in open ground conditions. The technical efficiency of their use against the complex of tomato diseases was within 30,6–54,7 %, while the chemical standard – 50,5–63,2 %. The best protection of tomatoes from diseases among biological products was provided by 5-time treatment of plants with Vitastim BT and Fitosporin BT (10 l/ha). The technical effectiveness of this measure to limit the development of fungal diseases (Alternaria blight, anthracnose) was 45,8–52,7 %, bacterial (wet rot, black bacterial spot) – 52,3–54,7 %. The use of biological products contributed to an increase in the marketable yield of tomato fruits by 2,42–4,63 t/ha, which indicates the effectiveness of their use and the feasibility of using them to control tomato diseases.

Keywords: tomato, biological products, Alternaria blight, anthracnose, bacterial diseases, yield.

Ефективність застосування біопрепаратів для контролю розвитку хвороб томата

О. О. Чаюк | Е. Л. Чумак

Інститут овочівництва і
баштанництва НААН
селище Селекційне, Україна

Томат є однією з провідних овочевих культур, однак значної шкоди його урожаю завдає розвиток хвороб, збитки від яких можуть сягати 30 %. У зв'язку з цим, актуальними є дослідження з встановлення ефективності застосування біопрепаратів для обмеження розвитку основних хвороб томата в умовах відкритого ґрунту та підвищення його урожайності. За результатами фітосанітарного моніторингу посівів томатів в умовах відкритого ґрунту впродовж вегетаційних періодів 2024–2025 рр. встановлено, що домінуючою грибною хворобою в агроценозі є рання суха плямистість або альтернarioз (збудник – гриб *Alternaria solani* Ell. et Mart.). У фазі плодоутворення поширеність хвороби в середньому за роками досліджень сягала 88,1 %, а інтенсивність розвитку склала 32,3 %. Відмічено ураження плодів томата антракнозом (збудник – гриб *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) Hughes). Поширеність хвороби становила 20,0 % при інтенсивності розвитку 14,8 %. Бактеріальні хвороби були представлені збудниками мокрої бактеріальної гнилі (збудник – бактерія *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*) та чорної бактеріальної плямистості (збудник – бактерія *Xanthomonas vesicatoria* Doidge). Поширеність мокрої бактеріальної гнилі сягала 23,0 %, а чорної бактеріальної плямистості не перевищувала 10,0 %. Встановлено, що обробка рослин біопрепаратами суттєво знижує розвиток хвороб томата в умовах відкритого ґрунту. Технічна ефективність їх застосування проти комплексу хвороб томата була в межах 30,6–54,7 %, тоді як хімічного еталону – 50,5–63,2 %. Найкращий захист томата від хвороб серед біопрепаратів забезпечила 5-разова обробка рослин препаратами Вітастим БТ та Фітоспорін БТ (10 л/га). Технічна ефективність цього заходу для обмеження розвитку грибних хвороб (альтернarioз, антракноз) становила 45,8–52,7 %, бактеріальних (мокра гниль, чорна бактеріальна плямистість) – 52,3–54,7 %. Використання біопрепаратів сприяло збільшенню товарної урожайності плодів томата на 2,42–4,63 т/га, що свідчить про ефективність їх застосування та доцільність використання для контролю хвороб томата.

Ключові слова: томат, біопрепарати, альтернarioз, антракноз, бактеріальні хвороби, урожайність.**Бібліографічний опис для цитування:** Чаюк О. О., Чумак Е. Л. Ефективність застосування біопрепаратів для контролю розвитку хвороб томата. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 24–29.

Вступ

Томат є однією з провідних овочевих культур як у світі, так і в Україні. Його цінність обумовлена наявністю численних біологічно активних речовин, серед яких мінерали, незамінні амінокислоти, цукри та харчові волокна [11]. Томати є джерелом вітамінів груп В, Е та особливо великої кількості вітаміну С [6, 15, 24]. Плоди томатів знаходять широке застосування не лише у свіжому, а й у переробленому вигляді, зокрема у консервуванні та сушінні, що дозволяє отримати продукцію з високою економічною цінністю [9, 11]. Значної шкоди урожаю томатів завдає розвиток хвороб, збитки від яких можуть сягати 30–80 % [8, 15, 16, 20].

Оскільки масове використання пестицидів в сільському господарстві призводить до забруднення довкілля й урожаю, альтернативою може бути впровадження більш безпечних і екологічно чистих біологічних засобів захисту рослин [1, 13, 14]. Біологічні препарати, на відміну від хімічних, практично не мають негативної дії на навколишнє середовище і мають ряд переваг: препарати на основі мікроорганізмів не проявляють фітотоксичності, не порушують природних зв'язків у біоценозі, не призводять до виникнення резистентності у шкідливих організмів [3, 18, 19]. Виявлено низку бактерій і грибів, які продукують біологічно активні речовини з рістрегулюючою, імуностимулюючою, захисною дією та є антагоністами широкого спектра фітопатогенів [24, 25]. Найбільш поширеними є біопрепарати на основі бактерій родів *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* та мікроміцетів, що належать до родів *Trichoderma*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* [2, 5, 7, 10, 12, 13]. Тому актуальними є дослідження, направлені на оптимізацію застосування біологічних препаратів та визначення їх ефективності.

Мета дослідження

Мета дослідження – дослідити ефективність застосування біопрепаратів для обмеження розвитку основних хвороб томата в умовах відкритого ґрунту та збереження урожайності

Матеріали і методи

Дослідження проводилися на базі лабораторії агрохімічних досліджень та якості продукції Інституту овочівництва і баштанництва НААН. Досліди проводили на сорті томата Зореслав.

Оцінку фітосанітарного стану агроценозу томата проводили систематично, визначаючи видовий склад, поширеність та ступінь розвитку хвороби з використанням загальноприйнятих методів в фітопатології, посилаючись на «Методику випробування і застосування пестицидів» [23] та «Методику дослідної справи в овочівництві і баштанництві» [4].

Обліки ураження рослин томатів альтернаріозом проводили з використанням шкали:

0 – плями відсутні, рослина не уражена;

1 – плями займають 10 % всієї листової поверхні на рослині;

2 – уражено до $\frac{1}{4}$ (11–25 %) поверхні листків куща;

3 – уражено близько $\frac{1}{2}$ (26–50 %) поверхні листків куща;

4 – уражено $\frac{3}{4}$ (більше 50 %) поверхні листків куща.

Обліки ураження плодів проводили з використанням шкали:

0 – плоди без ознак хвороби, здорові;

1 – на плодах крапкові або штриховані некротичні плями;

2 – дрібні або злиті плями займають до 25 % поверхні плоду;

3 – плями займають до 50 % поверхні плоду;

4 – уражено понад 50 % поверхні плоду.

В польові досліді з визначення ефективності біопрепаратів були включені: Фітоспорін БТ (*Bacillus subtilis*, титр не менше – $2,0 \times 10^9$ КУО/см³), Вітастим БТ (*Trichoderma harzianum* шт. 1, *Pseudomonas fluorescens* шт. 2 і *Pseudomonas fluorescens* шт. AP33 з титром до $4,0 \times 10^9$ КУО/см³), Мікохелп (суміш клітин бактерій *Bacillus subtilis*, *Azotobacter*, *Enterobacter*, *Enterococcus* та грибів роду *Trichoderma* (*Trichoderma lignorum*, *Trichoderma viride*) з титром $1,0 \times 10^9$ КУО/см³), Фітоцид (*Bacillus subtilis* титр $1-9 \times 10^9$ КУО/см³). Хімічним еталоном для порівняння ефективності біопрепаратів були фунгіциди Сігнум (д. р. Боскалід – 267 г/кг, Піраклостробін – 67 г/кг) та Луна Експірієнс (д.р. Флуопірам – 200 г/л та Тебуконазол – 200 г/л).

Обприскування рослин біопрепаратами здійснювали у фазі: ВВСН 19 – 10–12 днів після висадки розсади, ВВСН 27 – формування бічних пагонів, ВВСН 61 – цвітіння першої китиці, ВВСН 71 – формування першого плоду, ВВСН 75 – перший плід формує 50 % розміру; фунгіцидами у фазі: ВВСН 19 та ВВСН 61.

Результати та їх обговорення

За результатами фітосанітарного моніторингу посівів томатів в умовах відкритого ґрунту впродовж вегетаційних періодів 2024–2025 рр. встановлено, що домінуючою грибною хворобою в агроценозі є рання суха плямистість або альтернаріоз (збудник – гриб *Alternaria solani* Ell. et Mart.). Перші ознаки альтернаріозу з'явилися у фазу ВВСН 27 (ІІІ декада червня). Масове ураження рослин починалося із ІІ декади липня, що збігалось із фазою цвітіння – початку плодоутворення (ВВСН 71). У фазі плодоутворення поширеність хвороби в середньому за роками досліджень була 88,1 %, а інтенсивність розвитку 32,3 %.

У роботі Sergiienko et al. [20] стверджують, що найбільш шкочинними хворобами томатів є фітофтороз і альтернаріоз. Автори наголошують, що розвитку фітофторозу сприяє дощова прохолодна погода, а розвитку альтернаріозу – суха спекотна погода з періодичними теплими дощами. У роки з холодною і вологою погодою в червні-липні домінує фітофтороз, при теплій погоді і частому чередуванні вологих і сухих періодів – альтернаріоз. Тому залежно від погодних умов, що складаються у період вегетації, домінує та або інша хвороба.

Симптоми альтернаріозу починали проявлятися спочатку на листках нижнього ярусу. Вони мали вигляд темних слабоконцентричних плям, які поступово набували значної концентричності та ставали темно-коричневого кольору (рис. 1 а).

Плями, збільшуючись у розмірах, викликали передчасне засихання листового апарату нижнього і середнього ярусів. Початок масового ураження плодів збудником альтернаріозу спостерігали у серпні. Типові симптоми ураження плодів мали вигляд темно-бурих зональних плям, на поверхні яких утворювався чорний оксамитовий наліт – конідіальне спорonoшення гриба.

Відмічено ураження плодів томата антракнозом (збудник – гриб *Colletotrichum coccodes* (Wallr.) Hughes). Поширеність хвороби була 20,0 % при інтенсивності розвитку 14,8 %. Перші ознаки хвороби проявлялися на початку I декади серпня (BVCH 75), але характерні ознаки хвороби з'являлися на побурілих і повністю стиглих плодах у вигляді поодиноких круглих плям, які збільшуючись у розмірах, приймали вигляд вдавнених (рис. 1 б). Центри уражених ділянок набували жовтувато-коричневого забарвлення, на яких утворювалося багато темних крапок (мікросклероцій).

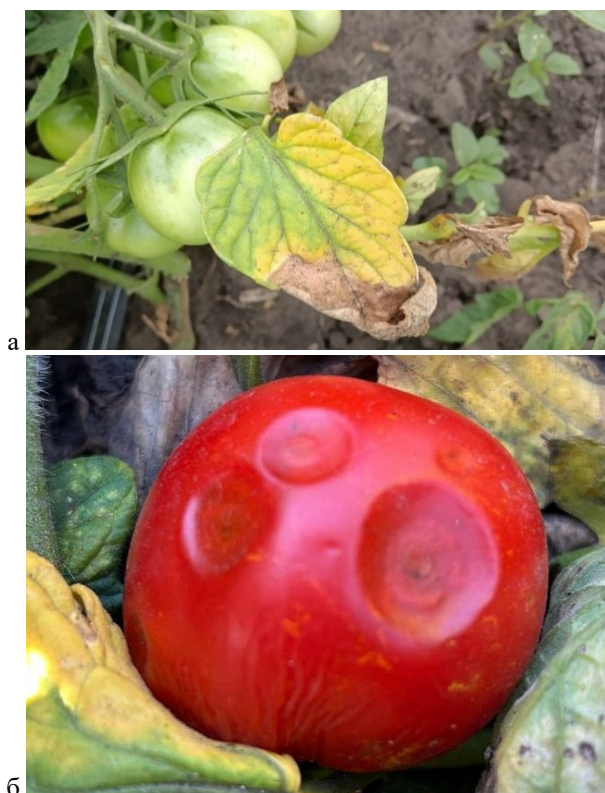


Рис. 1. Ознаки ураження плодів томата грибними хворобами: а – альтернаріозом, б – антракнозом

Бактеріальні хвороби були представлені мокрою бактеріальною гниллю (збудник – бактерія *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora*) та чорною бактеріальною плямистістю (збудник – бактерія *Xanthomonas vesicatoria* Doidge). Поширеність мокрої бактеріальної гнилі в агроценозі томата в роки досліджень перевищувала 23,0 % при інтенсивності розвитку 11,1 %. Частково такі високі показники

розповсюдження хвороби можна пояснити спалахом розвитку популяції бавовникової совки, гусениці якої пошкоджували плоди томата, що сприяло проникненню патогенних бактерій в тканини рослини. Симптоми хвороби спочатку проявлялися у вигляді вдавнених водянистих плям на плодах, що різко відмежовані від здорової тканини (рис. 2 а). На шкірці утворювалися тріщини, через які просочувалися краплини рідини. Пізніше (через 2–4 доби) м'якоть плоду руйнувалася і перетворювалася на рідку масу з неприємним запахом.

Чорна бактеріальна плямистість проявлялася як у фазі першого справжнього листка (BVCH 10), так і у фазі плодоношення (BVCH 75), однак поширеність та інтенсивність розвитку хвороби були невеликими – до 10 %. На сім'ядольних листках утворювалися дрібні, округлі плями спочатку темно-зелені, згодом чорні. На справжніх листках спочатку з'являлися дуже дрібні (діаметром 1–3 мм) темно-бурі плями, оточені яскравою облямівкою. Під час підвищення вологості плями швидко розросталися, зливалися, охоплювали всю листову пластинку. На плодах плями були темні, діаметром до 3 мм, з широкою або вузькою, білою або хлоротичною облямівкою, дуже дрібні або бородавчасті (рис. 2 б). Такі плоди втрачали товарність та ставали непридатними для вживання і переробки.

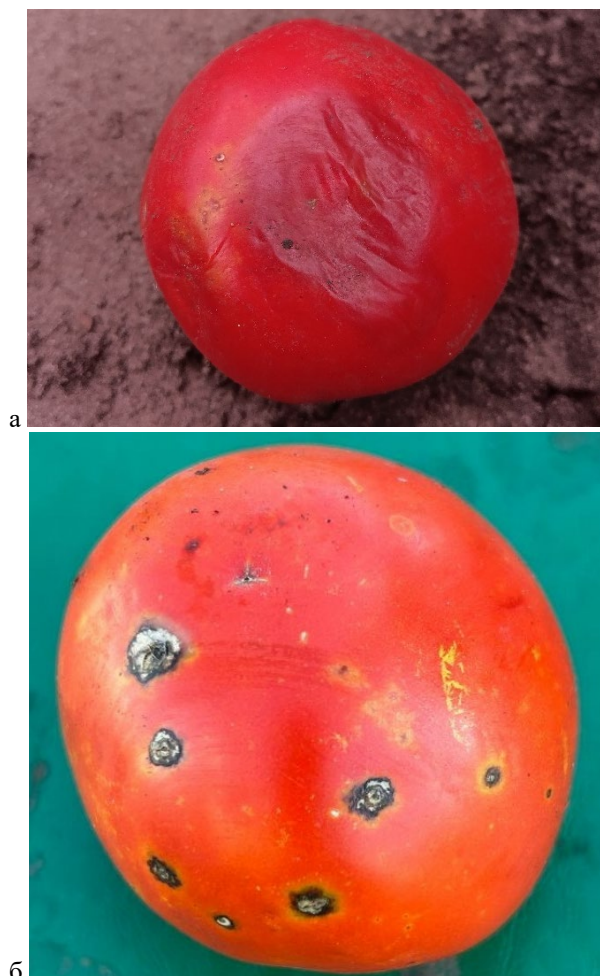


Рис. 2. Ознаки ураження плодів томата бактеріальними хворобами: а – мокрою бактеріальною гниллю, б – чорною бактеріальною плямистістю

Kolomiiets et al. [13] вказують, що розвиток чорної бактеріальної плямистості томатів (*Xanthomonas vesicatoria*) часто супроводжується бактеріальною крапчастістю (*Pseudomonas syringae* pv. *tomato*). Перші ознаки бактеріальної крапчастості спостерігали в перших числах липня у фазі масового цвітіння і початку плодоутворення. Поряд з цими бактеріальними хворобами було відзначено поширення бактеріального раку (*Clavibacter michiganensis*

subsp. *michiganensis*), на ранніх стадіях розвитку якого симптоми цих хвороб дуже легко сплутати.

Аналіз ефективності застосування мікробних препаратів проти розвитку хвороб томатів засвідчив, що обробка рослин сприяла зниженню рівня ураженості хворобами. Розвиток альтернаріозу у варіантах із обробкою біопрепаратами був у межах від 21,0 до 29,1 % при 38,2 % у контролі, антракнозу – у межах від 8,5 до 9,0 % при 14,8 % відповідно (**табл. 1**).

Таблиця 1

Ефективність біопрепаратів в обмеженні розвитку хвороб томата (середнє за 2024–2025 рр.)

Варіант	Норми витрат, л/га, кг/га	Розвиток хвороби, %				Технічна ефективність, %			
		АЛ	АН	МБП	ЧБП	АЛ	АН	МБП	ЧБП
1. Контроль	-	38,2	14,8	11,1	9,5	-	-	-	-
2. Сігнум, Луна Експірієнс (еталон)	1,25 0,75	18,0	6,7	5,5	3,5	52,9	54,7	50,5	63,2
3. Вітастим БТ, Фітоспорин БТ	4,0 5,0	23,7	8,5	6,0	5,5	38,0	42,6	45,9	42,1
4. Вітастим БТ, Фітоспорин БТ	6,0 10,0	21,0	7,0	5,3	4,3	45,1	52,7	52,3	54,7
5. Фітоцид, Мікохелп	2,0 3,0	29,1	9,0	7,7	5,0	23,9	39,2	30,6	47,4
<i>НІР₀₅</i>		2,0	1,0	1,1	2,0				

Примітки: АЛ – альтернаріоз; АН – антракноз; МБП – мокра бактеріальна плямистість; ЧБП – чорна бактеріальна плямистість.

Серед мікробних препаратів варіант з використанням Вітастим БТ (6,0 л/га), Фітоспорин БТ (10,0 л/га) мав найвищу технічну ефективність проти розвитку грибних хвороб – 45,1–52,7 %, і незначно поступався хімічному еталону – фунгіцидам Сігнум (1,25 кг/га) та Луна Експірієнс (0,75 л/га) з ефективністю 52,9–54,7 %. Варіант із застосуванням зниженої норми витрат препаратів Вітастим БТ (3,0 л/га), Фітоспорин БТ (5,0 л/га) суттєво поступався за ефективністю, яка становила 38,0–42,6 %. Найменшу ефективність застосування відмічено у варіанті з застосуванням Фітоциду (2,0 л/га) та Мікохелп (3,0 л/га) – 23,9–39,2 %.

Застосування біопрепаратів також забезпечувало обмеження розвитку бактеріальних хвороб томата: мокрої бактеріальної гнилі – від 5,3 до 7,7 % при 11,1 % у контролі, чорної бактеріальної плямистості – 4,3–5,5 % при показнику на контролі 9,5 %. Технічна ефективність біопрепаратів проти бактеріальних хвороб була на рівні 30,6–54,7 %, у той час як хімічного еталону – 50,5–63,2 %.

Аналіз господарської ефективності показав, що найвища товарна урожайність томата зафіксована за застосування фунгіцидів – 53,28 т/га, в той час як у контролі цей показник був 45,71 т/га (**табл. 2**). За обробки рослин біопрепаратами товарна урожайність томата була в межах 48,13–50,34 т/га.

Таблиця 2

Господарська ефективність застосування біопрепаратів на посівах томатів у відкритому ґрунті

Варіант	Норми витрат, л/га, кг/га	Товарна урожайність, т/га				
		2024	2025	Середнє	Приріст, т/га	% до контролю
1. Контроль	-	53,02	38,4	45,71	-	-
2. Сігнум, Луна Експірієнс (еталон)	1,25 0,75	58,42	48,14	53,28	7,57	16,56
3. Вітастим БТ, Фітоспорин БТ	4,0 5,0	55,37	40,89	48,13	2,42	5,29
4. Вітастим БТ, Фітоспорин БТ	6,0 10,0	55,44	45,24	50,34	4,63	10,13
5. Фітоцид, Мікохелп	2,0 3,0	55,59	43,97	49,78	4,07	8,90
<i>НІР₀₅</i>		2,8	2,0			

Найкращий результат серед біопрепаратів показав варіант із застосуванням Вітастим БТ (6 л/га) та Фітоспорин БТ (10 л/га), де приріст урожаю в порівнянні з контролем становив 4,64 т/га. Приріст товарної урожайності за рахунок обробок фунгіцидами становив 7,57 т/га або 16,56 %, а за рахунок застосування біопрепаратів 2,42–4,63 т/га або 5,29–10,13 %.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування біопрепаратів в системі захисту томатів в умовах відкритого ґрунту для обмеження розвитку хвороб. Подібні результати отримали Sergiienko et al. [19], які зазначають, що ефективність дії біопрепаратів на основі бактерій *Bacillus subtilis* Серенада АСО SC, КС і Серенада МАКС WP, ЗП проти альтернаріозу томатів становила в середньому

за вегетаційний період 51,3 % та 41,3 %, проти фітофторозу томатів – відповідно 63,5 % та 61,5 %. Чорну бактеріальну плямистість томатів біопрепарати Серенада АСО SC, КС і Серенада МАКС WP, ЗП стримували на рівні 46,7 %.

У роботі Mogilyuk & Ignatyeva [16] зазначено, що найефективніше контролюють грибні хвороби томатів у відкритому ґрунті біопрепарати Планріз БТ та Триходермін БТ. Їхнє застосування протягом вегетації знижувало ураження рослин томатів фітофторозом на 53,0–58,8 %, альтернаріозом на 63,3–64,6 %, септоріозом на 63,1–64,6 %. Найкращу технічну ефективність проти чорної бактеріальної плямистості мають Бактофіт БТ – 76,5 % та Триходермін БТ – 64,7 %. Однак наші результати показують нижчі показники ефективності застосування біопрепаратів, що можна пояснити несприятливими умовами зовнішнього середовища (високою температурою повітря і дефіцитом вологи). Відомо, що за температури нижче 13–14 °C і вище 28–30 °C ефективність біопрепаратів різко знижується [22]. Ефективність грибних препаратів, на відміну від бактеріальних, значною мірою залежить від вологості. Біопрепарати на основі грибних біоагентів рекомендують застосовувати за вологості повітря понад 65 %.

Впливає на ефективність біопрепаратів і кількість обробок упродовж вегетації рослин, оскільки вони характеризуються уповільненою дією в порівнянні з фунгіцидами. Тому важливими є дослідження, направлені на оптимізацію застосування біологічних препаратів з урахуванням фітосанітарної ситуації в агроценозі.

Таким чином, результати дослідження інших дослідників підтверджують актуальність досліджень з вивчення ефективності біопрепаратів в системі захисту томатів в умовах відкритого ґрунту. Подальші дослідження доцільно зосередити на оптимізації норм внесення препаратів та вивченні взаємодії хімічного і біологічного захисту з іншими елементами агротехнології, включаючи вибір гібридів та добрих.

Висновки

Проведені дослідження засвідчили, що застосування біопрепаратів значно знижувало ураження томатів основними хворобами – альтернаріозом, антракнозом, мокрою бактеріальною гниллю та чорною бактеріальною плямистістю. Технічна ефективність мікробних препаратів проти комплексу хвороб томата була в межах 23,9 – 54,7 %, тоді як варіант із застосуванням хімічного еталону – 50,5–63,2 %. Застосування схеми біопрепаратів, яка включала 5-разову обробку Вітастим БТ (6 л/га) та Фітоспорін БТ (10 л/га) забезпечило найкращий захист – 45,8–52,7 % проти грибних та 52,3–54,7 % проти бактеріальних хвороб. Використання біопрепаратів сприяло збільшенню товарної урожайності плодів томата на 2,42–4,63 т/га, що свідчить про ефективність їх застосування та доцільність використання для контролю хвороб томата.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Akila, A. H., Ali, M. A. S., Khairy, A. M., Elnahal, A. S. M., Alfassam, H. E., Rudayni, H. A., Jaber, F. A., & Tohamy, M. R. A. (2024). Biological control of tomato bacterial leaf spots and its impact on some antioxidant enzymes, phenolic compounds, and pigment content. *Biology*, 13(6), 369. <https://doi.org/10.3390/biology13060369>
2. Alzandi, A. A., & Naguib, D. M. (2019). *Pseudomonas fluorescens* metabolites as biopriming agent for systemic resistance induction in tomato against *Fusarium* wilt. *Rhizosphere*, 11, 100168. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2019.100168>
3. Beznosko, I., Gorgan, T., & Mosiychuk, I. (2024). Antagonistic properties of preparation to the micromycetes *Fusarium oxysporum* Schltdl. *Karantin i Zahist Roslin*, 1, 40–44. <https://doi.org/10.36495/2312-0614.2024.1.40-44>
4. Bondarenko, H. L., & Yakovenko, K. I. (Eds). (2001). *Methods of experimentation in vegetable and melon growing*. Kharkiv: Osnova.
5. Boyno, G., Demir, S., & Danesh, Y. R. (2021). Effects of some biological agents on the growth and biochemical parameters of tomato plants infected with *Alternaria solani* (Ellis & Martin) Sorauer. *European Journal of Plant Pathology*, 162(1), 19–29. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02398-2>
6. Chaudhary, P., Sharma, A., Singh, B., & Nagpal, A. K. (2018). Bioactivities of phytochemicals present in tomato. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 2833–2849. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3221-z>
7. Dimkić, I., Janakiev, T., Petrović, M., Degraasi, G., & Fira, D. (2022). Plant-associated *Bacillus* and *Pseudomonas* antimicrobial activities in plant disease suppression via biological control mechanisms - A review. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 117, 101754. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2021.101754>
8. Dzham, M., & Mykhailenko, S. (2020). Efficacy of modern fungicides against tomato alternaria blotch. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 66, 74–81. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2020.66.74-81>
9. Humenny, D., Havryliuk, L., Beznosko, I., Horgan, T., Gentosh, D., & Bashta, O. (2024). Monitoring of main tomato (*Solanum lycopersicum* L.) diseases and methods of microbiological control of phytopathogens. *Agroecological Journal*, 2, 143–154. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305673>
10. Jabnoun-Khiareddine, H., Daami-Remadi, M., Ayed, F., & El Mahjoub, M. (2009) Biological control of tomato *Verticillium* wilt by using indigenous *Trichoderma*. *The African Journal of Plant Science and Biotechnology*, 3, 26–36.

11. Jafer, D. (2016) The role of tomato products for human health (*Solanum lycopersicum*) - a review. *Journal of Health, Medicine and Nursing*, 33, 66–74.
12. Köhl, J., Kolnaar, R., & Ravensberg, W. J. (2019). Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: Relevance beyond efficacy. *Frontiers in Plant Science*, 10, 845. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00845>
13. Kolomiiets, Y., Butsenko, L., Yemets, A., & Blume, Y. (2024). The use of PGPB-based bioformulations to control bacterial diseases of vegetable crops in Ukraine. *The Open Agriculture Journal*, 18(1), e18743315283724231220104524. <https://doi.org/10.2174/0118743315283724231220104524>
14. Singh, V. K., Singh, A. K., & Kumar, A. (2017). Disease management of tomato through PGPB: current trends and future perspective. 3 *Biotech*, 7(4). <https://doi.org/10.1007/s13205-017-0896-1>
15. Madlhophe, S., Ogugua, U. V., Makhubu, F. N., & Figlan, S. (2025). Use of biological control agents for managing fungal pathogens in Solanaceae crops: progress and future perspectives – a review. *Discover Applied Sciences*, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s42452-025-06500-9>
16. Mogilyuk, N., & Ignatyeva, O. (2017) Hrybni ta bakterialni khvoroby tomativ v Odeskii oblasti. *Karantyn i Zakhyst Roslyn*, 10/12, 7–10. [in Ukrainian]
17. Peng, D., Luo, K., Jiang, H., Deng, Y., Bai, L., & Zhou, X. (2016). Combined use of *Bacillus subtilis* strain B-001 and bactericide for the control of tomato bacterial wilt. *Pest Management Science*, 73(6), 1253–1257. <https://doi.org/10.1002/ps.4453>
18. Pham, J. V., Yilma, M. A., Feliz, A., Majid, M. T., Maffetone, N., Walker, J. R., Kim, E., Cho, H. J., Reynolds, J. M., Song, M. C., Park, S. R., & Yoon, Y. J. (2019). A review of the microbial production of bioactive natural products and biologics. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1404. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01404>
19. Sergiienko, V. G., Tkalenko, G. M., Borzykh, O. I., & Shita, O. V. (2024). Biocontrol of vegetable crop diseases using *Bacillus subtilis*-based preparations. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 3 (3), 61–72. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240303.06>
20. Sergiienko, V. G., Tkalenko, H. M., & Tyshchuk, O.P. (2024) Biokontrol naibilsh poshyrenykh khvorob tomativ u period vehetatsii. *Ovochivnytstvo i bashtannytstvo: istorychni aspekty, suchasnyi stan, problemy i perspektyvy rozvytku», prysviachenii 50-richchiu vid dnia stvorennia Doslidnoi stantsii «Maiak» IOB NAAN: Materialy X Mizhnarodnoi naukovy-praktychnoi konferentsii, prysviachenoi 50-richchiu vid dnia stvorennia Doslidnoi stantsii «Maiak» IOB NAAN (u ramkakh IX naukovo forumu «Naukovyi tyzhden u Krutakh – 2024», 11– 12 bereznia 2024 r., s. Kruty, Chernihivska obl.). Tom 2. (S. 209–2017). Obukhiv: Drukarnia FOP Huliaieva V. M. Retrieved from: <https://ovoch.com/assets/files/conference/tezu/ovochivnictvo-tom-2-2024.pdf#page=209> [in Ukrainian]*
21. Tkalenko, G., & Goral, S. (2019). Features of the formation of a phytopathogenic complex on tomatoes in greenhouses. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 65, 191–200. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2019.65.191-200>
22. Tkalenko, G., & Goral, S. (2023). Biologichni preparaty ta shliakhy pidvyshchennia yikhnoi efektyvnosti v ahrotsenozakh silskohospodarskykh kultur. *Mikrobiologhiia v suchasnomu silskohospodarskomu vyrobnytstvi: materialy XVI naukovo konferentsii molodykh uchenykh (m. Chernihiv, 25 zhovtnia 2023 r.)*. (S. 116–117). Natsionalna akademiia ahrarykh nauk Ukrainy, Instytut silskohospodarskoi mikrobiologii ta ahropromyslovoho vyrobnytstva. Chernihiv : vydavets Brahynets O. V. [in Ukrainian]
23. Trybel, S. O. (Ed.). (2001). *Metodyky vyprovuvannia i zastosuvannia pestytsydiv*. Kyiv: Svit [in Ukrainian]
24. Lee, Y. S., Naing, K. W., & Kim, K. Y. (2017). Effect of a bacterial grass culture on the plant growth and disease control in tomato. *Research in Plant Disease*, 23(4), 295–305. <https://doi.org/10.5423/rpd.2017.23.4.295>
25. Villarreal-Delgado, M. F., Villa-Rodríguez, E. D., Cira-Chávez, L. A., Estrada-Alvarado, M. I., Parra-Cota, F. I., & De los Santos-Villalobos, S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología, Mexican Journal of Phytopathology*, 36(1), 95–130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

ORCID

O. Chaiuk 
E. Chumak 

<https://orcid.org/0000-0001-8845-782X>
<https://orcid.org/0009-0002-7040-8776>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Optimization of soybean sowing and fertilization rate in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine

T. Shepilova[✉] | D. Petrenko | K. Vasylovskaya | O. Andreychenko

Article info

Correspondence Author

T. Shepilova

E-mail:

shepilova.tamara@gmail.comCentral Ukrainian National
Technical University,
8, Prospekt Universytetskyi,
Kropyvnytskyi, 25006,
Ukraine

Citation: Shepilova, T., Petrenko, D., Vasylovskaya, K., & Andreychenko, O. (2026). Optimization of soybean sowing and fertilization rate in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 30–34. doi: 10.31210/spi2026.29.01.05

Studying optimal seeding rates and fertilization systems for soybean crops is important. Incorrectly selected plant density leads to irrational use of resources or, conversely, to excessive competition, while unbalanced mineral and biological nutrition inhibits the efficiency of nodule formation and crop formation. Thus, scientific substantiation and implementation of economically justified sowing and fertilization rates are a key lever for maximizing the genetic potential of modern soybean varieties, which directly affects the growth of the profitability of agricultural production and the competitiveness of the industry. The purpose of the research is to establish the effectiveness of various seeding rates, fertilizer application, growth stimulant, and seed inoculation for the Samorodok soybean variety. The task is to determine the impact of seeding rates and fertilizers on seed germination, biometric indicators, and elements of the crop structure. The research was conducted during 2023–2025 in the Kirovohrad region. The soil is ordinary medium-humus heavy loamy black soil. The early-ripening soybean variety Samorodok was studied. The experiment was set up using the split-plot method. Factor A is seeding rates, factor B is the nutritional background. Mineral fertilizers ($P_{40}K_{40}$) were applied by spreading method for pre-sowing cultivation. Inoculation with Rizoactiv was carried out at a rate of 2 l/t of seeds, the biostimulant Vitazym was used at a rate of 1 l/t. As a result of the research, it was found that as the seeding rate increased, field seed germination decreased by 1.9–2.0 %. Complex fertilizer ($P_{40}K_{40}$ + Rhizoactiv + Vitazym) provided an increase in germination by 3.9–4.2 % compared to the control. With an increase in the seeding rate, the weight of one plant decreased by 6.0–7.6 g. The largest plant mass was provided by the complex fertilizer option, at a rate of 500 thousand/ha it was 33.8 g (increase compared to the control of 5.5 g). Unlike mass, plant height increased by an average of 2.3 cm with increasing seeding rate. The use of fertilizers provided greater height; in dense sowing (900 thousand/ha), it was 56.1 cm, which exceeded the control by 5.6 %. The number of tubers decreased as the seeding rate increased by 8.7–10.2 pcs. At a rate of 500 thousand/ha, it was 38.4 pcs., which is higher than the control by 10 pcs. or 35.2 %. Analysis of the elements of the crop structure showed that the number of beans during thickening decreased by 6.7–9.1 pcs. which was 27.7–29.8 %. At the same time, the mass of seeds decreased on average by 1.1 g (28.9 %). The highest seed productivity per unit area was at a seeding rate of 700 thousand/ha (average 241 g/m²). Higher yield (27.8 c/ha) was obtained at a seeding rate of 700 thousand c/ha when using mineral fertilizers $P_{40}K_{40}$ and seed treatment with Rizoactiv and Vitazym. The yield increase was 4.4 c/ha, or 18.8 %.

Keywords: soybean, seeding rates, fertilizers, inoculation, biostimulant.

Оптимізація норм висіву та удобрення сої в умовах Північного Степу України

Т. П. Шепілова | Д. І. Петренко | К. В. Васильковська | О. Г. Андрейченко

Центральноукраїнський
національний технічний
університет,
м. Кропивницький, Україна

Вивчення оптимальних норм висіву та систем удобрення посівів сої має важливе значення. Некоректно підібрана густина стояння рослин призводить до нераціонального використання ресурсів або, навпаки, до надмірної конкуренції, тоді як незбалансоване мінеральне та біологічне живлення стримує ефективність утворення бульбочок та формування врожаю. Таким чином, наукове обґрунтування та впровадження економічно виправданих норм сівби і удобрення є ключовим важелем для максимального розкриття генетичного потенціалу сучасних сортів сої, що безпосередньо впливає на зростання рентабельності аграрного виробництва та підвищення конкурентоспроможності галузі. Мета досліджень – встановити ефективність різних норм висіву, застосування добрив, стимулятора росту та інокуляції насіння для сорту сої Самородок. Завдання – визначити вплив норм висіву та добрив на схожість насіння, біометричні показники та елементи структури врожаю. Дослідження були проведені протягом 2023–2025 рр. у Кіровоградській області. ґрунт – чорнозем звичайний середньогумусний важкосуглинковий. Вивчали ранньостиглий сорт сої Самородок. Дослід було закладено методом розщеплених ділянок. Фактор А – норми висіву, фактор В – фон живлення. Мінеральні добрива ($P_{40}K_{40}$) вносили розкидним способом під передпосівну культивування. Інокуляцію Ризоактивом проводили в нормі 2 л/т насіння, біостимулятор Вітазім використовували в нормі 1 л/т. В результаті досліджень встановлено, що у міру збільшення норми висіву польова схожість насіння зменшувалася на 1,9–2,0 %. Комплексне удобрення ($P_{40}K_{40}$ + Ризоактив + Вітазім) забезпечило зростання схожості на 3,9–4,2 % відносно контролю. Зі збільшенням норми висіву маса однієї рослини знижувалася на 6,0–7,6 г. Найбільшу масу рослин забезпечив комплексний варіант удобрення, при нормі 500 тис./га вона становила 33,8 г (приріст до контролю 5,5 г). На відміну від маси, висота рослин зростала в середньому на 2,3 см зі збільшенням норми висіву. Застосування добрив забезпечило більшу висоту, у загущеному посіві (900 тис./га) вона становила – 56,1 см, що на 5,6 % перевищило контроль. Кількість бульбочок зменшувалася у міру збільшення норми висіву на 8,7–10,2 шт. За норми 500 тис./га вона становила 38,4 шт., що вище за контроль на 10 шт., або 35,2 %. Аналіз елементів структури врожаю показав, що кількість бобів при загущенні знижувалася на 6,7–9,1 шт., що складало 27,7–29,8 %. При цьому маса насіння знижувалася в середньому на 1,1 г (28,9 %). Найбільша насіннева продуктивність з одиниці площі була при нормі висіву 700 тис./га (в середньому 241 г/м²). Вища врожайність (27,8 ц/га) отримана за норми висіву 700 тис./га при застосуванні мінеральних добрив $P_{40}K_{40}$ та обробки насіння Ризоактивом і Вітазімом. Прибавка врожаю становила 4,4 ц/га, або 18,8 %.

Ключові слова: соя, норми висіву, добрива, інокуляція, біостимулятор.



Бібліографічний опис для цитування: Шепілова Т. П., Петренко Д. І., Васильковська К. В., Андрейченко О. Г. Оптимізація норм висіву та удобрення сої в умовах Північного Степу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 30–34.

Вступ

Соя у глобальному сільськогосподарському виробництві займає ключове місце, що підтверджується значним розширенням її посівних площ [1]. В Україні також відзначається помітне та динамічне зростання інтересу до сої. Ця культура впевнено зайняла своє місце у структурі посівних площ вітчизняних сільськогосподарських підприємств [2, 3]. Незважаючи на тенденцію до збільшення рівня врожайності сої в Україні, зумовлену впровадженням сучасних технологічних рішень та високопродуктивних сортів, фактичні показники досі істотно нижчі, ніж ті, що демонструють провідні світові гравці на ринку цієї культури [4]. Незважаючи на проблеми низької продуктивності у виробничих умовах, які часто спричинені недостатнім забезпеченням поживними елементами та неоптимальним водним режимом, комплексні технології створюють можливість для розкриття генетичного потенціалу сої. Невірно обрана густина посіву культури спричиняє або нераціональне витрачання ресурсів (світло, вода, поживні речовини), або ж, навпаки, призводить до надмірної внутрішньовидової конкуренції. При цьому дисбаланс мінерального та біологічного живлення є чинником, який обмежує ефективність симбіотичної азотфіксації та повноцінного наливання зерна. Відтак наукове обґрунтування та впровадження економічно доцільних норм сівби і систем живлення є вирішальним механізмом для максимального розкриття генетичного потенціалу сучасних сортів сої. Це безпосередньо сприяє зростанню рентабельності аграрного сектору та загальному підвищенню конкурентоспроможності галузі [5–8].

Густина сівби сої в Україні суттєво залежить від групи стиглості сорту, що безпосередньо пов'язано з його архітектурою та потенціалом до гілкування. Для ультраранніх і ранньостиглих сортів, які слабко гілкуються, рекомендується використовувати вищі норми висіву (700–900 тис./га). Водночас середньостиглі та пізньостиглі сорти, які мають кращу здатність до гілкування та формування більшої кількості бобів на бічних пагонах, висівають із меншою густрою (зазвичай 350–600 тис./га) [9, 10]. Дослідження Senyk (2020) [11] в умовах Лісостепу свідчить, що збільшення норми висіву від 500 до 700 тис./га підвищує врожайність ранньостиглого сорту КиВін на 0,36–0,43 т/га. Подальший ріст норми до 800 тис./га, навпаки, викликав зниження врожайності. Найвищу врожайність – 3,0 т/га – відмічено за норми висіву 700 тис./га.

Для максимальної врожайності сої необхідно ретельно здійснити вибір норми висіву, оптимізуючи її до сортових особливостей та ґрунтово-кліматичних умов.

Дослідження з сортами сої Алігатор, Сенатор та Ментор в умовах Правобережного Лісостепу України визначили оптимальну густоту стояння 600 тис./га, що забезпечило врожайність в діапазоні 2,8–4,2 т/га [12].

У дослідженнях, проведених в умовах Північного Степу України, виявлено оптимальну норму висіву

для середньостиглого сорту Ювілейна – 400 тис./га. Тоді як для ранньостиглого сорту Золушка вона становила 800 тис./га [13].

Комплексне застосування інокулянтів для ефективної біологічної азотфіксації та стимуляторів росту, які активізують кореневу систему і підвищують стресостійкість, має вирішальне значення для максимального розкриття генетичного потенціалу та досягнення стабільно високої продуктивності сої [14–17].

Дослідження Kalenska & Novytska (2020) [18] свідчать про ефективність поєднання підживлення посівів сорту сої Хорол добривом Супер Мікро Плюс на фоні поєднання інокулянтів ХайСтік та мікродобрива Аватар, що забезпечило більший показник площі листової поверхні – 35–37 тис. м²/га.

Спільне використання фосфорно-калійних добрив та інокуляції забезпечує взаємне підсилення ефективності, створюючи оптимальні умови для розвитку рослин сої. Така синергія має вирішальне значення, оскільки вона гарантує ефективну біологічну азотфіксацію і підвищує загальну продуктивність культури [19–21]. Зокрема, в умовах Лісостепу Правобережного технологія, яка передбачала інокуляцію насіння разом із внесенням Р₆₀К₆₀ в основне удобрення, забезпечила прирост врожаю – 0,2–0,3 т/га, по відношенню до інокуляції як окремого заходу [22].

Отже, огляд літературних джерел свідчить про те, що норми висіву та системи удобрення сої є багатofакторними елементами технології, ефективність яких значною мірою залежать від генетичних особливостей сорту (групи стиглості, схильності до гілкування), ґрунтово-кліматичної зони вирощування (від доступності вологи та оптимального температурного режиму), забезпеченості ґрунту елементами живлення та застосування інокулянтів й стимуляторів росту.

Мета дослідження

Мета досліджень – встановити ефективність різних норм висіву, застосування добрив, стимулятора росту та інокуляції насіння для сорту сої Самородок.

Завдання – визначити вплив норм висіву та добрив на схожість насіння, біометричні показники та елементи структури врожаю сої.

Матеріали і методи

Дослідження проведені у 2023–2025 рр. в Кіровоградській області. Ґрунт – чорнозем звичайний середньогумусний важкосуглинковий. Вивчали ранньостиглий сорт сої Самородок.

Дослід було закладено методом розщеплених ділянок. Фактор А – норми висіву, фактор В – фон живлення. Мінеральні добрива (Р₄₀К₄₀) вносили розкидним способом під передпосівну культивування. Інокуляцію Ризоактивом проводили в нормі 2 л/т насіння, біостимулятор Вітазим використовували в нормі 1 л/т.

Результати та їх обговорення

Відомо, що норма висіву сої критично важлива, оскільки перевищення густоти рослин посилює конкуренцію за ресурси та знижує індивідуальну продуктивність рослин, а зниження, навпаки, призводить до недостатньої кількості продуктивних стебел на площі. Оптимальна норма забезпечує кожній рослині повноцінний розвиток, одночасно пригнічуючи бур'яни та підвищуючи загальний урожай.

Таблиця 1

Вплив норм висіву та добрив на біометричні показники сої (2023–2025 рр.)

Норми висіву, тис./га	Удобрення	Польова схожість насіння, %	Маса рослин, г	Висота рослин, см	Кількість бульбочок, шт.
500	Контроль (без добрив)	81,4	28,3	50,8	28,4
	P ₄₀ K ₄₀	82,4	31,2	52,1	31,5
	Ризоактив + Вітазим	83,8	30,1	51,6	35,6
	P ₄₀ K ₄₀ + Ризоактив + Вітазим	85,6	33,8	53,8	38,4
700	Контроль (без добрив)	80,6	25,1	51,7	24,1
	P ₄₀ K ₄₀	83,1	27,6	52,4	28,7
	Ризоактив + Вітазим	83,4	27,7	52,1	31,2
	P ₄₀ K ₄₀ + Ризоактив + Вітазим	84,5	29,1	54,7	33,5
900	Контроль (без добрив)	79,5	22,3	53,1	19,7
	P ₄₀ K ₄₀	81,2	24,9	54,7	22,4
	Ризоактив + Вітазим	82,3	25,0	54,3	25,4
	P ₄₀ K ₄₀ + Ризоактив + Вітазим	83,6	26,2	56,1	28,2

Застосування лише біопрепаратів також дає позитивний ефект, який у більшості випадків перевищує вплив лише мінеральних добрив. Наприклад, при найвищій нормі висіву, де схожість у контролі була найменшою (79,5 %), біопрепарати підвищили її на 2,8 %. Це підкреслює важливу роль інокулянтів та стимуляторів у підвищенні стійкості насіння до несприятливих умов середовища. У міру збільшення норми висіву польова схожість насіння зменшувалася на 1,9–2,0 %, що пояснюється конкуренцією рослин за фактори життя.

Визначення маси рослин проводили у фазі цвітіння. Варто відзначити, що зі збільшенням норми висіву маса однієї рослини знижується. У контрольному варіанті маса рослин знижувалася на 6,0 г, при комплексному удобренні – на 7,6 г, адже посилена конкуренція між рослинами за ресурси негативно впливає на індивідуальний розвиток. Найбільшу масу рослин забезпечив комплексний варіант (P₄₀K₄₀ + Ризоактив + Вітазим). При нормі 500 тис./га маса становила 33,8 г (приріст до контролю 5,5 г), при 700 тис./га – 29,1 г (приріст 4,0 г), а при 900 тис./га – 26,2 г (приріст 3,9 г). Варіант із внесенням лише P₄₀K₄₀ та варіант із Ризоактивом та Вітазим показали близькі, але менші результати. Наприклад, при нормі 700 тис./га у цих варіантах маса була 27,6–27,7 г та приріст до контролю 2,5–2,6 г. Це підтверджує, що фосфорно-калійне живлення та біологічна стимуляція є важливими чинниками для росту вегетативної маси. Найбільша маса рослини – 33,8 г отримана при меншій нормі висіву (500 тис./га) у поєднанні з комплексним удобренням.

На відміну від маси, висота рослин зростала в середньому на 2,3 см зі збільшенням норми висіву. В умовах більшої густоти стояння рослин нижні листки отримують недостатньо світла, рослини

дослідження демонструють, що додаткове живлення або обробка насіння позитивно впливає на польову схожість сої порівняно з контролем, підтверджуючи, що стартове забезпечення насіння добривами є важливим для формування оптимальної густоти сходів. Комплексна обробка (P₄₀K₄₀ + Ризоактив + Вітазим) забезпечила зростання схожості – від 3,9 % до 4,2 % відносно контролю (табл. 1).

інтенсивніше витягуються вгору, що, хоча і збільшує висоту, може негативно вплинути на міцність стебла та схильність до вилягання. Комплексне застосування добрив забезпечує більшу висоту. Найвищою вона була у загущеному посіві (900 тис./га) – 56,1 см.

Кількість бульбочок є важливим показником ефективності біологічної азотфіксації, від якої залежить забезпечення сої азотом. Вона знижувалася у міру збільшення норми висіву, у контролі – на 8,7 шт., при удобренні – на 10,2 шт. У варіанті з інокуляцією при нормі 500 тис./га кількість бульбочок становила 35,6 шт., перевищення до контролю – 7,2 шт. (25,4 %). Це підтверджує прямий вплив біопрепаратів на формування активності симбіозу у сої. При нормі висіву 900 тис./га перевищення до контролю було 5,7 шт. (28,9 %).

Фосфорно-калійні добрива в меншій мірі, але також підвищували кількість бульбочок, оскільки фосфор і калій є необхідними елементами для енергетичних та структурних процесів утворення бульбочок. Перевищення до контролю за норми висіву 500 тис./га становило 3,1 шт. (10,9 %), за норми висіву 900 тис./га – 2,7 шт. (13,7 %).

Комплексний варіант удобрення сприяв отриманню найбільшої кількості бульбочок. Так, при нормі 500 тис./га їх нараховувалося – 38,4 шт., що вище від контролю на 10 шт., або 35,2 %, при нормі висіву 700 тис./га – на 9,4 шт., або 39,0 %, при нормі висіву 900 тис./га – на 8,5 шт., або 43,1 %.

Проведено аналіз впливу норм висіву та різних схем удобрення на ключові елементи структури врожаю (табл. 2). Відмічалась така закономірність, що зі збільшенням норми висіву кількість бобів на одній рослині знижувалась. Через загущення посіву обмежується формування генеративних органів, що виражається у зменшенні кількості закладених квіток, абортивності бобів та зниженні якості насіння.

У варіанті комплексного удобрення кількість бобів знижується на 9,1 шт., у контролі – на 6,7 шт., що становить відповідно 29,8 % та 27,7 %.

Комплексний варіант удобрення ($P_{40}K_{40}$ + Ризоактив + Вітазим) забезпечує найбільшу кількість

бобів за всіх норм висіву. При нормі 500 тис./га – 30,5 шт., що на 6,3 шт., або 26,1 % більше порівняно з контролем, при нормі 900 тис./га – 3,9 шт., або 22,3 %.

Таблиця 2

Вплив норм висіву та добрив на елементи структури врожаю сої (2023–2025 рр.)

Норми висіву, тис./га (фактор А)	Удобрення (фактор В)	Кількість бобів, шт.	Кількість насіння, шт.	Маса насіння, г	Маса насіння, г/м ²	Урожайність, ц/га
500	Контроль (без добрив)	24,2	50,2	3,8	167	21,2
	$P_{40}K_{40}$	26,7	54,8	3,9	177	22,8
	Ризоактив + Вітазим	27,8	57,6	4,1	194	23,5
	$P_{40}K_{40}$ + Ризоактив + Вітазим	30,5	63,4	4,4	215	25,8
	Контроль (без добрив)	21,8	43,2	3,5	210	23,4
700	$P_{40}K_{40}$	24,1	47,9	3,7	226	25,4
	Ризоактив + Вітазим	26,7	50,3	4,0	251	25,9
	$P_{40}K_{40}$ + Ризоактив + Вітазим	28,1	54,7	4,2	278	27,8
	Контроль (без добрив)	17,5	36,4	2,7	204	19,8
	$P_{40}K_{40}$	18,6	38,9	2,9	223	20,9
900	Ризоактив + Вітазим	19,5	40,3	3,2	247	21,4
	$P_{40}K_{40}$ + Ризоактив + Вітазим	21,4	44,1	3,3	259	22,7
НІР ₀₅ по фактору А						0,8
НІР ₀₅ по фактору В						1,1
НІР ₀₅ по фактору АВ						1,4

У варіанті з інокуляцією та біостимулятором кількість бобів була вищою, ніж у варіанті з $P_{40}K_{40}$. При нормі висіву 700 тис./га приріст до контролю становив 4,9 шт. бобів, що складає 22,5 %.

Кількість насіння значно зменшувалася при загущенні посівів від 500 до 900 тис./га – на 13,8–19,3 шт., або 27,5–30,4 %.

Комплексний варіант удобрення забезпечив більшу кількість насіння за всіх норм висіву. Найвищий показник був при нормі 500 тис./га – 63,4 шт., що на 13,2 шт. більше порівняно з контролем. Отже, краще забезпечення рослин фосфором, калієм та азотом за рахунок інокуляції та симбіозу є важливим для процесу формування насіння.

Загущення посіву викликало зменшення індивідуальної продуктивності рослин. Маса насіння знижувалася в середньому на 1,1 г або 28,9 %. Найбільша маса насіння – 4,4 г відмічена при найменшій нормі висіву 500 тис./га та комплексному удобренні. Перевищення відносно контролю становило 0,6 г або 15,8 %. За норми висіву 700 тис./га приріст до контролю був 0,7 г, що складало 20,0 %, за 900 тис./га – 0,6 г або 22,2 %.

Маса насіння з одиниці площі є інтегрованим показником, що найбільш точно відображає потенційну врожайність. На відміну від індивідуальної продуктивності рослини, маса насіння з одиниці площі зростала при збільшенні норми висіву з 500 до 700 тис./га. Це свідчить про те, що оптимальна густота посіву складала 700 тис./га, оскільки збільшення кількості рослин компенсувало зниження їхньої індивідуальної продуктивності. Комплексне застосування добрив забезпечувало більшу насіннєву продуктивність за всіх норм висіву. Максимальний результат – 278 г/м² отримали при нормі висіву 700 тис./га, що більше за контроль на 68 г/м² (32,4 %). При нормі висіву 500 тис./га приріст становив 48 г/м² (28,7 %), при нормі 900 тис./га – 55 г/м² (26,9 %).

Найбільша врожайність – 27,8 ц/га – була при нормі висіву 700 тис./га у поєднанні з комплексною

схемою удобрення, прибавка до контролю становила 4,4 ц/га. При нормі висіву 500 тис./га прибавка врожаю за комплексного удобрення становила 4,6 ц/га, при нормі висіву 900 тис./га – 2,9 ц/га.

Середня норма висіву 700 тис./га забезпечила вищий рівень врожайності. Загущення її до 900 тис./га призвело до істотного її зниження на 3,6–5,1 ц/га. Менша норма висіву 500 тис./га також поступалася за врожайністю на 2,0–2,2 ц/га, оскільки не забезпечувала достатньої кількості продуктивних рослин на площі.

Поєднання інокуляції та біостимулятора також дало істотну прибавку врожаю за норми 500 тис./га – 2,3 ц/га, за норми 700 тис./га – 2,5 ц/га, за норми 900 тис./га – 1,6 ц/га. Тобто, при загущенні посіву ефективність інокуляції погіршувалася. Найменша прибавка врожаю отримана при застосуванні фосфорно-калійних добрив – 2,0 ц/га при нормі висіву 700 тис./га, 1,6 та 1,1 ц/га при нормі 500 і 900 тис./га відповідно.

Висновки

Результати досліджень свідчать, що ефективним є поєднання оптимальної норми висіву та комплексної системи живлення. Найбільшу врожайність (27,8 ц/га) забезпечила норма висіву 700 тис./га при застосуванні мінеральних добрив $P_{40}K_{40}$ та обробки насіння Ризоактивом і Вітазимом. Цей варіант забезпечив оптимальний баланс густоти стояння та індивідуальної продуктивності рослин, що виразилося в найвищому показнику маси насіння з одиниці площі (278 г/м²).

Збільшення норми висіву від 500 до 900 тис./га викликало зниження маси рослин, кількості бульбочок та елементів структури врожаю. Так, маса рослин зменшувалася в середньому на 20,3 %, кількість бульбочок – на 28,7 %, кількість бобів – на 29,7 %, маса насіння – на 25,9 %, тоді як висота рослин навпаки підвищувалася на 5,1 %. Найбільша насіннєва продуктивність з одиниці площі була при

нормі висіву 700 тис./га (в середньому 241 г/м²), зниження або підвищення норми висіву викликало зменшення показника на 22 і 3,3 % відповідно.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть зосереджені на комплексному вивченні ефективності елементів технології вирощування високопродуктивних сортів сої. Основний акцент буде зроблено на оцінці взаємодії добрив, стимуляторів росту, біопрепаратів та позакореневого підживлення за різних параметрів густоти рослин та строків сівби. Кінцевою метою є наукове обґрунтування та розробка ресурсозберігаючих та високопродуктивних агротехнічних рішень для умов Степу України.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

- Humenyuk, I. I., Hruzinsky, C. Yu., Brovko, I. S., & Chabanyuk, Ya. V. (2018). Soybean root system under the influence of *Bradyrhizobium japonicum*. *Agroecological Journal*, 1, 138–143. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.1.2018.161572>
- Shepilova, T., Mostipan, M., Petrenko, D., & Vasylovskaya, K. (2020). The influence of sowing time and micro-fertilizers on soybean productivity in the northern steppe of Ukraine. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 26 (4), 787–792. Retrieved from: <https://www.agrojournal.org/26/04-12.pdf>
- Velychko, O. V., & Butenko, A. O. (2019). *Agrobiological foundations of soybean cultivation*. Vinnytsia: VNAU, 250
- Kunychak, H., Dutchak, O., & Matviets, N. (2023). Soybean productivity under different soil tillage methods and fertilization systems with elements of biologization. *Feeds and Feed Production*, 96, 94–101. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202396-09>
- Moldovan, Z., & Moldovan, V. (2022). Assessment of the competitiveness of the soybean seed pre-sowing treatment and foliar feeding at different levels of mineral nutrition. *Feeds and Feed Production*, 94, 27–36. <https://doi.org/10.31073/kormovyrobnytstvo202294-03>
- Pidlisnyi, R. M. (2020). Produktivnist soi zalezno vid pozakorennevoho pidzhyvlennia. *Efektivne funktsionuvannia ekolohichno-stabilnykh terytorii u konteksti stratehii stiikoho rozvytku: ahroekolohichni, sotsialni ta ekonomichni aspekty: zbirnyk materialiv IV Mizhnarodnoi nauko-vo-praktychnoi Internet-konferentsii (Poltava, 18 hrudnia 2020 r.)*. (S. 107–109). Poltava [in Ukrainian]
- Dushko, P. M. (2017). Evaluation fertilizers in soybean cultivation technology according to its adaptive capacity. *Agroecological Journal*, 2, 205–210. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2017.220307>
- Vozhehova, R., Kokovikhin, S., & Drobitko, A. (2019). Formation of productivity of soya varieties under influence of inoculation in the conditions of Steppe of Ukraine. (2019). *Scientific and Technical Bulletin of the Institute of Oilseed Crops NAAS*, 28, 97–108. <https://doi.org/10.36710/ioc-2019-28-108>
- Hhyhorieva, O. M., Dimova, S. B., & Almaieva, T. M. (2019). The efficiency of biological preparations in the technology of soybean growing on heavy loamy chernozem on the right-bank steppe of Ukraine. *Agricultural Microbiology*, 29, 46–55. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.29.46-55>
- Naydenova, G., & Georgieva, N. (2019). Study on seed yield components depending on the duration of vegetation period in soybean. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 25(1), 49–54. Retrieved from: <https://www.agrojournal.org/25/01-07.pdf>
- Senyk, I. I. (2020). Influence of sowing norm and row of row rows on soybean yield in conditions of Western Forest Steppe. *Plant and Soil Science*, 11(3), 43–50. <https://doi.org/10.31548/agr2020.03.043>
- Shashkov, Y., & Tanchyk, S. (2018). Soybean yield depending on the variety and geometrical disposition of plants in the right-bank forest-steppe zone of Ukraine. *Plant and Soil Science*, 268, 100–106.
- Shepilova, T. P. (2009). Formation of highly productive soybean crops under the influence of agrotechnical techniques in the conditions of the Kirovograd region / *Candidate's thesis*. Institute of Grain Economy, Dnipropetrovsk.
- Didur, I. M. (2023). The influence of seed inoculation and extra-root nutrition on the duration of vegetation and the dynamics of soybean plants density in the conditions of right bank Forest Steppe. *Taurian Scientific Herald*, 130, 50–56. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2023.130.8>
- Kryzhanivskyi, M. V., & Bakhmat, O. M. (2022). Soybean productivity depending on the use of organic fertilizers, seed inoculation and plant growth regulators. *Podilian Bulletin Agriculture Engineering Economics*, 37, 26–31. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2022-2-4>
- Shevnikov, M. Ya., Milenko, O. G., & Lotysh, I. I. (2018). The productivity of soy sorts depending on elements of growing technology. *Scientific Progress & Innovations*, 3, 15–21. <https://doi.org/10.31210/visnyk2018.03.02>
- Romanko, A. Yu. (2017). The state of soybean cultivation in Ukraine and Sumy region. *Bulletin of the Sumy National Agrarian University*, 2 (33), 120–123.
- Kalenska, S. M., & Novytska, N. V. (2020). Efficiency of nano preparations in soybean growing technology. *Plant and Soil Science*, 11(3), 7–21. <https://doi.org/10.31548/agr2020.03.007>
- Rebonatti, M. D., Cordeiro, C. F. dos S., Volf, M. R., Gomes da Silva, P. C., & Tiritan, C. S. (2023). Effects of silage crops between crop seasons on soybean grain yield and soil fertility in tropical sandy soils. *European Journal of Agronomy*, 143, 126685. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126685>
- Kuczyński, J., Twardowski, T., Nawracała, J., Graciz-Bernaciak, J., & Tyczewska, A. (2020). Chilling stress tolerance of two soya bean cultivars: Phenotypic and molecular responses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 206(6), 759–772. <https://doi.org/10.1111/jac.12431>
- Romanko, A. Yu. (2021). Formuvannia produktivnosti soi zalezno vid elementiv tekhnolohii vyroshchuvannia v umovakh pivnichno-skhidnoho Lisostepu Ukrainy / *PhD Thesis*. Sumskiy natsionalnyi ahrarniy universytet. Sumy [in Ukrainian]
- Svystunova, I., Furman, O., & Furman, V. (2022). Yield and quality of soybean seeds depending on inoculation and fertilizing in the conditions of the Right Bank Forest Steppe. *Naukovi Dopovidi Nacional'nogo Universitetu Bioresursiv i Prirodokoristuvannâ Ukraini*, 2022(2). <https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.02.004>

ORCID

- T. Shepilova  <https://orcid.org/0000-0002-1439-0439>
D. Petrenko  <https://orcid.org/0000-0002-3151-8123>
K. Vasylovskaya  <https://orcid.org/0000-0002-3524-4027>
O. Andreychenko  <https://orcid.org/0009-0003-0651-0263>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Effect of copper hydroxide concentrations on yield formation of indeterminate tomato hybrids under protected cultivation

V. Sievidov  | I. Sievidov

Article info

Correspondence Author
V. SievidovE-mail:
sevidov.vp@gmail.comState Biotechnological
University,
44 Alchevskih Str., Kharkiv,
61000,
Ukraine

Citation: Sievidov, V., & Sievidov, I. (2026). Effect of copper hydroxide concentrations on yield formation of indeterminate tomato hybrids under protected cultivation. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 35–42. doi: 10.31210/spi2026.29.01.06

Stabilization of vegetable crop productivity in protected cultivation systems under conditions of intensified phytopathogenic pressure of fungal and bacterial etiology requires optimization of fungicide load, taking into account economic feasibility and the regulated effectiveness of product application. With increasing phytopathological risks in greenhouse tomato cultivation, this necessitates a comparative evaluation of fungicide efficiency at different concentrations in order to determine the most effective application regimes. The article investigates the effect of the fungicide Champion, based on copper hydroxide, on the yield of indeterminate tomato hybrids when applied at concentrations of 3, 6, and 9 g/L in a plastic-film greenhouse of the Left-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine. The aim of the research was to determine the optimal concentration of the copper hydroxide preparation capable of ensuring increased yield and maintaining stable plant productivity under cultivation conditions. The experiments were conducted in four replications with a standardized treatment regime during early vegetative and generative growth stages. The control variant involved cultivation without product treatment, against which the average yield reached 17.4 kg/m² for the hybrid Matias F1 and 16.4 kg/m² for the hybrid Panekra F1. On average for 2018–2021, a product concentration of 3 g/L provided yields at the level of 16.2–16.8 kg/m², whereas the concentration of 6 g/L resulted in the highest performance – 17.2–17.4 kg/m², with an increase of up to 5.0 % compared to the control, indicating the optimality of this regime. At the concentration of 9 g/L, yield amounted to 17.0–17.3 kg/m², with an increase of up to 3.6 %. Multi-year analysis demonstrated the repeatability and stability of the effect specifically at the concentration of 6 g/L, while the doses of 3 and 9 g/L were characterized by lower efficiency. The practical significance lies in the agrotechnological substantiation of copper-containing product application, which ensures stable yield formation of indeterminate tomato hybrids and reduces the risk of production losses in commercial greenhouse production.

Keywords: tomato (*Solanum lycopersicum* L.), hybrids, cultivation technology, copper hydroxide, fungicidal protection, productivity.

Ефективність різних концентрацій гідроксиду міді у формуванні врожайності індетермінантних гібридів томата в умовах захищеного ґрунту

В. П. Сєвідов | І. В. Сєвідов

Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна

Стабілізація продуктивності овочевих культур у системах захищеного ґрунту в умовах посиленого фітопатогенного тиску грибної та бактеріальної етіології потребує оптимізації фунгіцидного навантаження з урахуванням економічної доцільності та регламентованої ефективності застосування препаратів. За зростання фітопатологічних ризиків у тепличному вирощуванні помідора це обумовлює доцільність порівняльного оцінювання ефективності застосування фунгіциду у різних концентраціях з метою визначення найбільш результативних режимів їх використання. У статті досліджено вплив препарату Чемпіон на основі гідроксиду міді на врожайність індетермінантних гібридів помідора за застосування концентрацій 3, 6 і 9 г/л у плівковій теплиці Лівобережного Лісостепу України. Мета дослідження полягала у встановленні оптимальної концентрації препарату гідроксиду міді, здатної забезпечити підвищення врожайності та збереження стабільності продуктивності рослин в умовах вирощування. Досліди виконували у чотириразовому повторенні з уніфікованим режимом обробки рослин у ранні та генеративні фази. Контрольний варіант передбачав вирощування без обробки препаратом, на тлі якого середня врожайність становила 17,4 кг/м² у гібрида Матіас F1 та 16,4 кг/м² у гібрида Панекра F1. У середньому за 2018–2021 рр. за концентрації препарату 3 г/л забезпечувалась врожайність на рівні 16,2–16,8 кг/м², за концентрації 6 г/л формувались найвищі результати – 17,2–17,4 кг/м², з приростом до контролю до 5,0 %, що свідчило про оптимальність саме цього режиму. За концентрації 9 г/л урожайність становила 17,0–17,3 кг/м², а приріст – до 3,6 %. Багаторічний аналіз засвідчив повторюваність та стабільність ефекту саме для концентрації 6 г/л, тоді як дози 3 і 9 г/л характеризувалися меншою результативністю. Практична значущість полягає в агротехнологічному обґрунтуванні застосування мідьвмісних препаратів, що забезпечить стабільне формування врожайності індетермінантних гібридів помідора та дозволить знизити ризики недобору продукції в комерційному тепличному виробництві.

Ключові слова: помідор (*Solanum lycopersicum* L.), гібриди, технологія вирощування, гідроксид міді, фунгіцидний захист, урожайність.



Бібліографічний опис для цитування: Сєвідов В. П., Сєвідов І. В. Ефективність різних концентрацій гідроксиду міді у формуванні врожайності індетермінантних гібридів томата в умовах захищеного ґрунту. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 35–42.

Вступ

Інфекційні хвороби помідора є одними з найвагоміших чинників зниження продуктивності культури упродовж вегетації та під час зберігання плодів. За умов інтенсивного овочівництва активне поширення патогенів різної етіології призводить не лише до кількісних втрат урожаю, а й до погіршення товарних і споживчих властивостей продукції, що ускладнює її реалізацію. У цьому контексті особливого значення набуває науково обґрунтований підхід до формування систем захисту рослин, здатних забезпечити стабільний фітосанітарний стан посівів і відповідати вимогам сучасного агровиробництва.

Вагомим елементом ефективної технології вирощування помідора є правильний добір гібридів, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичних умов та особливостей регіону. Такі гібриди мають генетичні особливості, що стримують розвиток інфекційних хвороб та виказують підвищену реакцію на застосування засобів хімічного захисту [1–3]. Одним із базових компонентів системи захисту помідора є фунгіциди контактної дії на основі сполук міді, які характеризуються широким спектром антимікробної активності [4]. Препарат Чемпіон на основі гідроксиду міді використовується для профілактики ураження рослин у різні фази розвитку. Його застосування спрямоване передусім на профілактику ураження рослин у критичні фази розвитку. Водночас ефективність дії мідьвмісних препаратів значною мірою визначається своєчасністю обробок та дотриманням оптимальної кратності внесення [5–7]. Оцінювання дії фунгіцидного захисту здійснюється з урахуванням фаз росту й розвитку помідора, що дозволяє простежити динаміку фітосанітарного стану посівів протягом вегетації [8, 9]. Такий підхід забезпечує можливість встановлення зв'язку між строками застосування мідьвмісних препаратів і рівнем прояву хвороб, а також визначення періодів, найбільш чутливих до захисних заходів.

Спалахи хвороб помідора спостерігаються і за умов вирощування розсади у спеціалізованих розсадних теплицях і при вирощуванні рослин помідора у різноманітних захищених спорудах. Мікрокліматичні умови таких, при вирощуванні розсади характеризуються підвищеною вологістю повітря, частим зволоженням рослин шляхом верхнього поливу та високою щільністю стояння рослин, що створює сприятливе середовище для розвитку та поширення комплексу хвороб помідора [10].

З метою відбору препарату з найвищою ефективністю проти бактеріального в'янення проводились лабораторні випробування антибактеріальної активності та польові дослідження із застосуванням у вигляді змочуваного порошку широко використовуваних бактерицидів: оксихлориду міді у поєднанні з касугаміцином, стрептоміцину, окситетрацикліну в поєднанні із сульфатом стрептоміцину, оксолінової кислоти та гідроксиду міді. Найвищий рівень біологічної ефективності продемонстрував змочуваний порошок гідроксиду міді – 62,5 %, тоді як оксолінова кислота показала 0 % ефективності. Фітотоксичність п'яти препаратів оцінювали шляхом візуального

огляду через 3, 5 і 7 діб після обробки. Показано, що при застосуванні змочуваного порошку гідроксиду міді ознак фітотоксичності не виявлено, на відміну від інших препаратів, за застосування яких ознаки фітотоксичності відзначено у різній мірі [11].

За результатами лабораторних досліджень, присвячених оцінці ефективності інгібування росту збудника бактеріальної хвороби помідора із застосуванням препаратів сульфату міді, оксолінової кислоти, стрептоміцину та тетрацикліну, найвищий рівень пригнічення патогена спостерігався при використанні оксолінової кислоти, тоді як препарати міді проявили найнижчу ефективність [12]. Проте як було встановлено нами раніше, у польових умовах найкращий антибактеріальний ефект забезпечувало застосування саме препарату гідроксиду міді.

Регулювання рівня ураження рослин хворобами здійснюється із застосуванням інтегрованих підходів до фітосанітарного менеджменту. Дослідження показують, що комбіноване використання біологічних, хімічних та агротехнічних заходів у рамках інтегрованої системи захисту рослин дозволяє значно зменшити ураження рослин бактеріальними, грибовими хворобами та шкідниками на 45–70 % порівняно з традиційними методами [13]. Виявлено, що комплексний підхід підвищує врожайність на 12–18 %, покращує якість плодів та зменшує негативний вплив хімічних обробок на навколишнє середовище [14]. Найефективніші комбінації включали ротацію культур, використання біопрепаратів та контроль шкідників за допомогою обмеженої кількості мідьвмісних препаратів [15]. Автори численних досліджень роблять висновок, що системи захисту рослин є життєво необхідними для забезпечення стійкого виробництва тепличних помідорів, дозволяючи одночасно знизити інтенсивність хвороб, підвищити економічну ефективність і підтримати екологічну безпеку [16–18].

До загальноприйнятих заходів належать санітарне очищення посівів, усунення бур'янів і рослинних решток, використання сертифікованого насіннєвого матеріалу та висаджування фізіологічно здорової розсади. Водночас, незважаючи на наявність у помідора джерел генетичної стійкості до бактеріальної плямистості, широке впровадження стійких форм у комерційне виробництво обмежене високою мінливістю збудника та постійною появою нових рас *Xanthomonas* [19].

Препарат гідроксиду міді досить широко використовується як засіб захисту пасльонових від альтернаріозу (*Alternaria solani*), тому його можна безпечно застосовувати для запобігання бактеріальному в'яненню помідора без ризику шкідливих залишкових кількостей препарату або фітотоксичності.

За таких умов ключову роль у стримуванні розвитку хвороб помідора продовжують відігравати хімічні методи захисту. Водночас ефективність традиційних фунгіцидних і бактерицидних засобів істотно обмежується низкою факторів, серед яких недостатня кількість альтернатив препаратів на основі міді, поширення штамів збудників, толерантних до мідьвмісних сполук, а також повторні прояви хвороб на оброблених ділянках. Сукупність зазначених чинників зумовлює необхідність

удосконалення існуючих і розроблення нових інтегрованих стратегій управління фітосанітарним станом посівів, орієнтованих на підвищення ефективності захисту помідора [20, 21].

Поєднання факторів гібридної належності з різними режимами фунгіцидного захисту створює підґрунтя для комплексної оцінки ефективності технологічних рішень. Аналіз взаємодії між генетично зумовленими властивостями рослин і дією препаратів дає змогу виявити закономірності формування стійкості агроценозу до хвороб та оптимізувати елементи системи захисту культури [22–24]. Це має практичне значення для підвищення стабільності виробництва та зменшення фітосанітарних ризиків.

Мета дослідження

Метою статті є з'ясування впливу різних концентрацій мідьвмісного фунгіциду на поширення грибкових і бактеріальних хвороб у вегетативних органах рослин, оцінка ефективності застосування фунгіциду проти комплексу збудників упродовж вегетації та визначення його впливу на ріст, розвиток і підсумкові показники врожайності гібридів F1 різних груп стиглості в умовах Лівобережного Лісостепу України.

Матеріали і методи

Досліди проводили у польових умовах на виробничій ділянці Державного біотехнологічного університету, розташованій у південно-східному регіоні Лівобережного Лісостепу України. Ґрунтовий шар дослідної ділянки представлений типовим чорноземом на глинистому карбонатному лесі. Проведення дослідів здійснювали відповідно до загальноприйнятих методик польових агрономічних досліджень. Ефективність дії препарату гідроксиду міді проти хвороб помідора оцінювали за вирощування рослин у весняно-літньому обороті у неопалювальній плівковій теплиці.

Для польового дослідів використовували гібриди, внесені до Державного реєстру України: Панекра F1 (ранньостиглий) і Матіас F1 (середньопізній). Насіння висівали у 50-коміркові касети, заповнені торф'яним субстратом «DOMOFLO-MIX» (суміш білого і чорного торфу), і вирощували до появи двох справжніх листків. Після цього сіянці пересаджували в розсадну теплицю, де їх пікірували у ємності об'ємом 500 см³ для дорощування.

Для розсади забезпечували щоденне регулярне зрошення та періодичне розпушування субстрату для підтримання оптимальних умов росту. У кінці квітня – на початку травня, коли рослини досягали висоти надземної частини 30–35 см, їх пересаджували у тепличний ґрунт до неопалюваних теплиць, обладнаних крапельною системою поливу. Вологість ґрунту підтримували на рівні 80,0–82,4 % найменшої вологоємності, а обсяг разового зрошення становив 4,5–6,5 л/м², що відповідало 45–65 м³/га.

Обробку рослин мідьвмісним фунгіцидом «Чемпіон» (Cu(OH)₂ 770 г/кг) виконували за триразової аплікації. Першу обробку виконували після

висадження розсади у теплицю з урахуванням поточних кліматичних умов, таких як підвищена вологість, різке зниження температури або прогноз опадів. Наступні обробки проводили через 10–14 днів за настання умов, сприятливих для розвитку хвороб помідора. Для запобігання проявам фітотоксичності обробки не виконували за високих температур, інтенсивної сонячної радіації та низької відносної вологості повітря. Обробка проводилася, виходячи із норми застосування об'єму робочого розчину у 10 л на 100 м², за визначеною концентрацією.

Планування дослідів, зокрема градація дозувань препарату та відповідних норм діючої речовини, забезпечило можливість подальшого аналізу впливу різних концентрацій на досліджувані показники (табл. 1).

Таблиця 1

Норми внесення препарату залежно від концентрації робочого розчину

Концентрація препарату, г/л	Норма внесення препарату (Cu(OH) ₂ 770 г/кг) на 100 м ²	Норма внесення чистої міді (Cu) на 100 м ²
Без обробки (контроль)	–	–
3	30 г	23 г
6	60 г	46 г
9	90 г	69 г

Для кожного варіанта визначено норму внесення препарату на площу 100 м², а також відповідну кількість діючої речовини – чистої міді (Cu). Зі збільшенням концентрації робочого розчину передбачено норми внесення препарату (30, 60 і 90 г на 100 м²) та еквівалентної кількості міді (23, 46 і 69 г на 100 м²).

Перед другим та третім внесеннями визначали відсоток уражених рослин та інтенсивність ураження листового апарату, оцінювали за відсотковою шкалою при регулярних спостереженнях. Величину збереженої асиміляційної поверхні визначали на репрезентативній вибірці рослин за допомогою візуального аналізу. Результати обробляли статистично за допомогою програми Statistica, використовуючи дисперсійний аналіз (ANOVA).

Результати та їх обговорення

З метою відбору способу обробки препаратом (концентрації) з найвищою ефективністю проти грибкових і бактеріальних хвороб було проведено дослідження впливу обробки рослин фунгіцидом Чемпіон, на строки проходження основних фаз розвитку рослин помідора. Встановлення динаміки переходу від появи сходів до початку цвітіння і плодоношення дозволяє простежити, наскільки стабільними залишаються ці показники за варіювання концентрації препарату та чи пов'язана обробка з прискоренням або, навпаки, вирівнюванням темпів розвитку рослин.

Порівняння даних для гібридів Панекра F1 і Матіас F1 створює підґрунтя для виявлення специфічних особливостей їхньої біологічної реактивності, а також для визначення концентрацій, які не порушують природного ритму росту (табл. 2).

Таблиця 2

Проходження фаз росту і розвитку рослин помідора залежно від концентрації робочого розчину (середнє за 2018–2021 рр.)

Гібрид	Концентрація препарату, г/л	Діб від посіву до			Перший – останній збір, діб
		появи сходів	початку цвітіння	початку плодоношення	
Панекра F1	без обробки (контроль)	6,0	59,9	126,3	92,0
	3	5,0	59,8	125,9	103,0
	6	6,0	59,7	126,0	93,0
	9	6,0	59,9	126,1	93,0
Матіас F1	без обробки (контроль)	5,0	59,0	126,3	93,0
	3	5,0	59,0	126,0	93,0
	6	5,0	59,3	126,1	94,0
	9	5,0	59,1	125,9	94,0

Вплив фунгіцидного захисту на тривалість між-фазних періодів рослин помідора оцінювався з метою встановлення закономірностей зміни ключових етапів розвитку порівняно з контрольними показниками. Для гібрида Панекра F1 максимальна тривалість періоду зборів спостерігалася при застосуванні фунгіциду в концентрації 3 г/л, де показник складав 103 доби, що на 11 діб або на 12,0 % перевищувало контроль. Менші відхилення від контрольного рівня були за концентрацій 6 та 9 г/л, де період зборів складав 93 доби, що лише на 1 добу або 1,1 % більше контролю. Інші фази розвитку рослин залишалися майже незмінними, що свідчить про підвищену чутливість періоду плодоношення до впливу фунгіциду. Загальні показники демонстрували плавну динаміку і перебували близько до контрольного рівня. Для гібрида Матіас F1 спостерігалася схожа тенденція. Тривалість періоду зборів була найбільшою у варіантах із концентраціями 6 та 9 г/л і становила 94 доби, що на 1 добу або на 1,1 % перевищувало контроль. Найменші відхилення від контрольного рівня фіксувалися при обробці 3 г/л, коли період зборів залишався на рівні 93 діб. Аналіз внутрішнього розподілу фаз розвитку показав стабільність усіх періодів, за винятком плодоношення, де спостерігалася більш виразна реакція на фунгіцидну обробку.

Таким чином, тривалість періоду плодоношення виявилася найбільш чутливою до змін концентрації фунгіциду, тоді як інші фази розвитку залишалися відносно стабільними. Відмінності між концентраціями демонструють специфічну реакцію різних гібридів на хімічний захист, що може бути враховано при формуванні технологічних рекомендацій щодо фунгіцидного контролю хвороб помідора.

Аналіз одержаних даних показав, що різні концентрації робочого розчину вплинули на формування біометричних характеристик рослин у фазі масового цвітіння. Загалом гібриди продемонстрували неоднакову реактивність: у варіантах із підвищенням концентрації препарату відзначено виразні зрушення у формуванні стеблової системи та загальному темпі росту (рис. 1).

Вплив концентрації препарату на морфометричні показники рослин помідора проявлявся у різній мірі залежно від гібрида. Для гібрида Панекра F1 максимальна маса рослин у фазі цвітіння спостерігалася за концентрації 9 г/л – 1282,5 г, що на 7,4 % перевищувало контроль. Для гібрида Матіас F1 другий за величиною показник маси визначено при концентрації

6 г/л – 1103,8 г, що на 6,4 % більше контрольного значення. Найменше фактичне значення фіксувалося для того ж гібрида Матіас F1 за концентрації 3 г/л, де маса складала 1036,3 г, на 0,1 % менше контролю. У межах інших варіантів обробки маса рослин залишалася близькою до контрольного рівня або перевищувала його, що свідчить про поступове підвищення маси зі зростанням концентрації препарату.

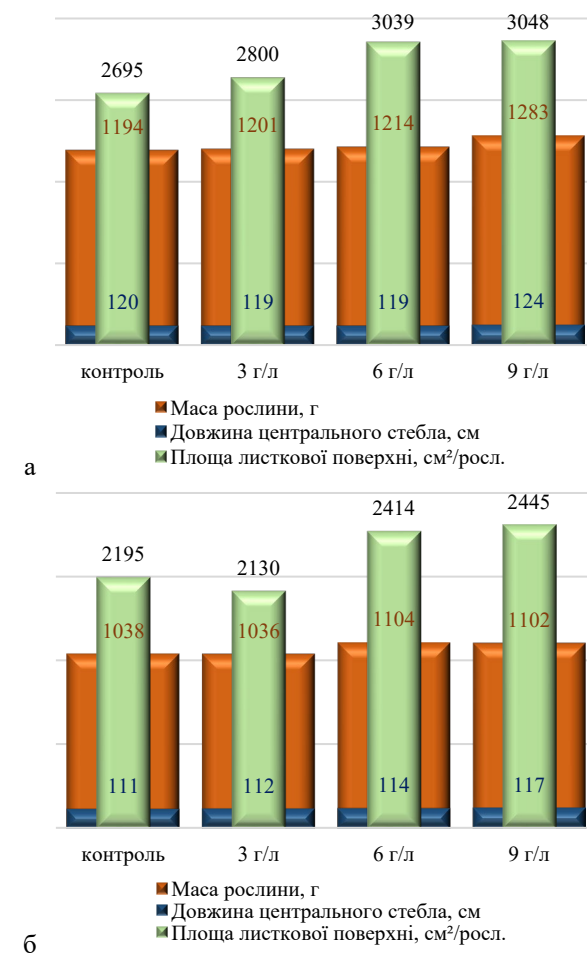


Рис 1. Біометричні показники рослин індетермінантних гібридів помідора у фазі цвітіння залежно від концентрації робочого розчину (середнє за 2018–2021 рр.):
а – гібрид F1 Панекра F1 б – гібрид F1 Матіас F1

Максимальну висоту рослин сформовано у гібрида Панекра F1 за концентрації 9 г/л, де показник

становив 123,5 см, на 3,3 % більше контролю. За такої ж концентрації для гібрида Матіас F1 висота сягала 117,0 см, що на 5,9 % більше за контроль. Мінімальний фактичний показник зафіксовано у гібрида Панекра F1 за концентрації 3 г/л, де висота становила 118,8 см, на 0,6 % менше контролю. Найбільш виражене підвищення проявлялося за максимальної концентрації препарату.

Площа листової поверхні максимальною була у гібрида Панекра F1 за концентрації 9 г/л – 3048 см², на 13,1 % більше, ніж у контролі. Близьким до цього був показник за концентрації 6 г/л – 3039 см², на 11,4 % більше контролю. Для гібрида Матіас F1 зміни площі листової поверхні були менш вираженими. Найбільший показник відзначено за концентрації 9 г/л – 2445 см², на 3,0 % менше контролю.

Варіювання концентрації робочого розчину вплинуло на характер ростових процесів і морфологічний розвиток рослин обох досліджуваних гібридів у фазі активного плодоношення. За результатами дослідів виявлено відмінності у масштабах наростання надземної маси, розвитку листового апарату та формуванні стеблової системи, що відображають специфічну реакцію кожного гібриду на застосування концентрації. Порівняння показало різну ступінь чутливості до обробки у межах окремих варіантів (рис. 2).

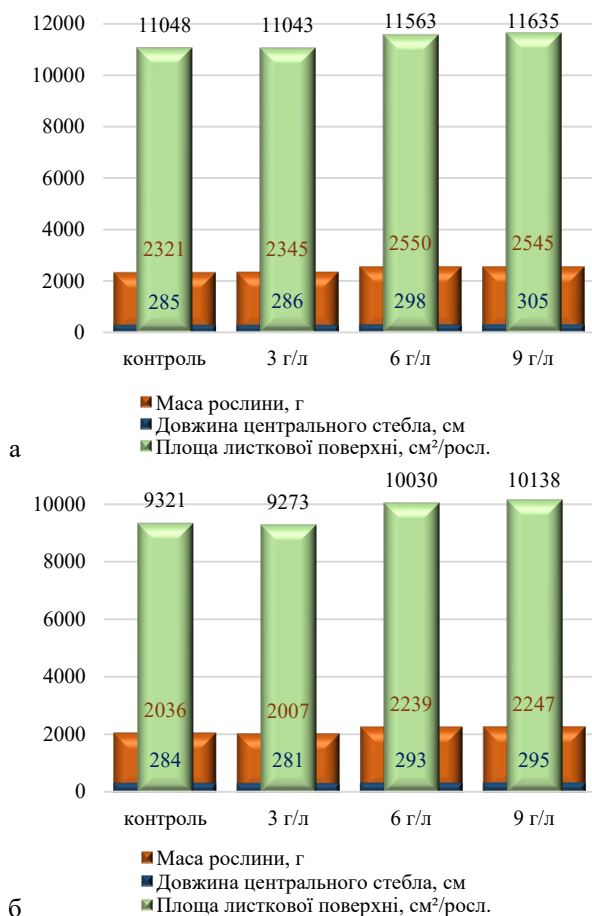


Рис 2. Біометричні показники рослин гібридів помідорів у фазу плодоношення залежно від концентрації робочого розчину (середнє за 2018–2021 рр.):

а – гібрид F1 Панекра F1 б – гібрид F1 Матіас F1

Маса рослини змінювалася залежно від концентрації препарату. У гібрида Панекра F1 максимальна маса спостерігалася за концентрації 6 г/л і становила 2550 г, що на 9,9 % перевищувало контроль. У гібрида Матіас F1 граничний показник маси фіксувався за концентрації 9 г/л – 2247 г, на 10,4 % більше контролю. Тобто максимальна маса у гібрида Панекра F1 досягалася за середньої концентрації, а у гібрида Матіас F1 – за найвищої.

Довжина центрального стебла у фазі плодоношення у гібрида Панекра F1 відзначена найбільшою – 305 см за концентрації 9 г/л, що на 7,0 % перевищувало контроль. У гібрида Матіас F1 найбільше значення становило 295 см при тій самій концентрації, на 5,6 % більше контролю. Таким чином, максимальні показники лінійного росту у обох гібридів спостерігалися за максимальної концентрації препарату.

Площа листової поверхні у фазі плодоношення мала максимальне значення за концентрації 9 г/л у гібрида Панекра F1, де показник становив 11635 см², що на 5,3 % перевищувало контроль. У гібрида Матіас F1 при тій самій концентрації площа листової поверхні сягала 10138 см², на 8,8 % більше, ніж у контролі. Виявлено, що обидва гібриди формували найвищі значення при максимальній концентрації препарату, при цьому відносне перевищення контролю було виразнішим у гібрида Матіас F1.

Поряд із аналізом біометричних показників рослин гібридів помідорів у фазі плодоношення залежно від концентрації робочого розчину було оцінено вплив обробок на фітосанітарний стан насаджень. Встановлено, що застосування препарату Чемпіон у концентраціях 6 г/л та 9 г/л забезпечувало повне пригнічення розвитку фітофторозу, альтернаріозу та бактеріальної плямистості протягом усього періоду спостережень. У цих варіантах ознаки ураження не виявлялися, тоді як у контрольному варіанті рівень захворюваності становив 8,5–11,9 %.

Зниження концентрації препарату до 3 г/л супроводжувалося менш передбачуваним результатом. У гібрида Панекра F1 за цієї норми в окремі роки спостерігали коливання ефективності захисту, що проявлялися періодичним зростанням рівня ураження. Подібну тенденцію відзначено і у гібрида Матіас F1: за концентрації 3 г/л у деякі роки показники захворюваності не лише зменшувалися, а й могли перевищувати значення, зафіксовані на контролі. Таким чином, мінімальна норма внесення не забезпечувала стабільного фітосанітарного стану посівів, на відміну від вищих концентрацій.

Оцінювання впливу препарату на формування врожайності показало, що стабільність реалізації продуктивного потенціалу значною мірою залежала від наявності фунгіцидного захисту. Аналіз динаміки загального врожаю гібридів Матіас F1 та Панекра F1 засвідчив, що застосування препарату в робочих концентраціях сприяло вирівнюванню показників урожайності між роками досліджень (табл. 3).

Таблиця 3

Вплив обробки на величину урожайності помідора (2018–2021 рр.)

Рік	Концентрація препарату	Урожайність, кг/м ²		Середнє
		Матіас F1	Панекра F1	
2018	контроль	16,2	15,6	16,9
2019		16,9	16,1	
2020		17,1	15,6	
2021		19,2	18,1	
2018	3 г/л	15,7	15,1	16,5
2019		16,8	16,4	
2020		16,2	15,8	
2021		18,3	17,4	
2018	6 г/л	16,9	16,4	17,3
2019		17,1	17,1	
2020		16,9	16,6	
2021		18,6	18,8	
2018	9 г/л	17,0	16,3	17,1
2019		16,7	16,1	
2020		16,6	16,7	
2021		18,9	18,8	
Середнє		17,2	16,7	x

Упродовж 2018–2021 рр. формування врожайності індетермінантних форм помідора відзначалося варіативністю, що відображає як генетичний потенціал, так і чутливість до елементів технології вирощування. У контрольному варіанті врожайність досліджуваних індетермінантних гібридів варіювала для гібрида Матіас F1 в межах 16,2–19,2 кг/м², тоді як для гібрида помідору Панекра F1 – 15,6–18,1 кг/м². За концентрації препарату Чемпіон у 3 г/л найбільший показник урожайності сформовано у 2021 р., і він становив для гібридів: Матіас F1 – 16,8 кг/м², на 7,7 % більше контролю; Панекра F1 – 16,1 кг/м², на 6,6 % більше контролю. За концентрації препарату Чемпіон у 6 г/л найбільший рівень урожайності визначено також у 2021 р. для гібридів: Матіас F1 – 18,2 кг/м², на 10,0 % більше контролю; Панекра F1 – 17,7 кг/м², на 10,0 % більше контролю. За концентрації препарату у 9 г/л у гібридів: Матіас F1 найбільший показник урожайності визначено знов у 2021 р. – 18,5 кг/м², на 10,4 % більше контролю. У гібрида Панекра F1 максимальна урожайність за цієї концентрації відзначена 17,9 кг/м², на 10,0 % більше, ніж у контролі. У цілому, для всіх концентрацій препарату Чемпіон максимальні показники урожайності в обох гібридів формувалися у 2021 році, що свідчить про найсприятливіші умови для реалізації продуктивного потенціалу.

Проведено аналіз формування загальної врожайності помідора. У середньому за період 2018–2021 рр. становила для гібриду Матіас F1 – 16,9 кг/м², а для гібриду Панекра F1 – 17,4 кг/м² (рис. 3).

Застосування препарату Чемпіон у концентрації 3 г/л не забезпечувало підвищення продуктивності рослин. В обох гібридів відмічено тенденцію до певного її зниження порівняно з варіантом контролю, що вказує на недостатню реалізацію захисного ефекту в умовах конкретного гідротермічного режиму. Водночас підвищення концентрації до 6 г/л змінювало характер реакції рослин. За таким варіантом у гібрида Матіас F1 формувався рівень врожайності – 16,9–18,6 кг/м², а у гібрида Панекра F1 – 16,4–18,8 кг/м². Показники перевищували контроль, що

пов'язано зі зниженням інфекційного навантаження та стабілізацією фотосинтетичної діяльності листового апарату. Застосування препарату у концентрації 9 г/л також забезпечило збереження або підвищення врожайності порівняно з контролем і варіантом із застосуванням концентрації 3 г/л за роками дослідів. Урожайність для гібрида Матіас F1 коливалася в межах 16,6–18,9 кг/м², гібрида Панекра F1 – 16,1–18,8 кг/м².

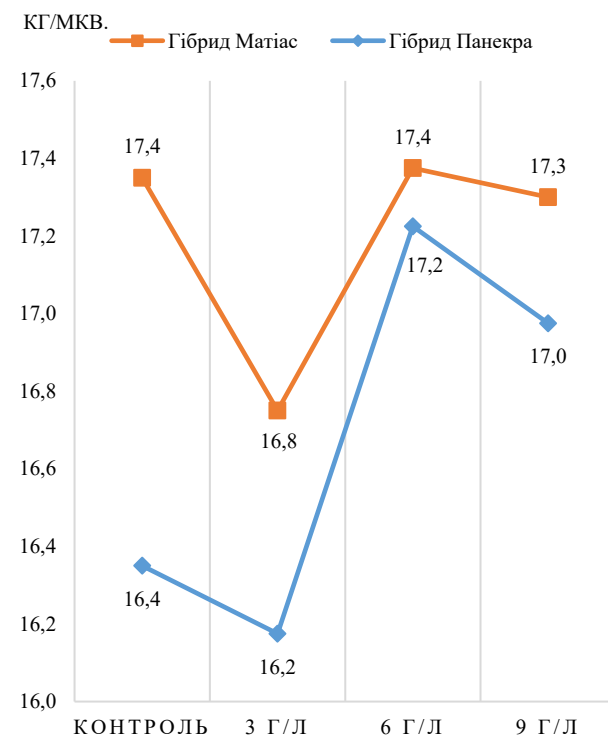


Рис 3. Середня врожайність рослин гібридів помідорів у фазі плодоношення залежно від концентрації робочого розчину (середнє за 2018–2021 рр.)

Узагальнюючи, найбільш виражений позитивний ефект відмічено за застосування препарату у концентрації 6 г/л, що забезпечувало оптимальний рівень і стабільність урожайності досліджуваних індетермінантних гібридів помідора. Загалом, результати досліджень підтверджують доцільність використання концентрацій 6 г/л та 9 г/л для забезпечення стабільного фітосанітарного стану посівів і збереження врожайності помідора.

Аналіз польових даних потребує комплексного підходу, де статистика виступає не лише інструментом перевірки гіпотез, а й засобом структуризації багатовимірної інформації. Використання дисперсійного аналізу дозволяє відокремити вплив окремих факторів від випадкових коливань, мінімізуючи «шум» у результатах та підвищуючи надійність отриманих показників. Такий підхід забезпечує кількісну оцінку внеску кожного елемента агро-технічного та біологічного середовища у варіацію врожайності, відкриваючи можливість виділити найбільш значущі умови для формування стабільного та високого врожаю (табл. 4).

Таблиця 4

Таблиця дисперсійного аналізу впливу факторів досліджу на урожайність помідора (за 2018–2021 рр.)

Джерело варіації	SS	df	MS	F	Частка участі, %
Фактор А (гібрид)	12	1	12	11	12,3
Фактор В (концентрація препарату)	38	3	13	11	38,1
Фактор С (роки, погодні умови)	20	3	6,7	6,1	20,2
Взаємодія А×В	7,6	3	2,5	2,3	7,6
Взаємодія А×С	2,1	3	2,2	2	6,5
Взаємодія В×С	2,8	9	0,6	0,5	5,3
Залишкова дисперсія	7,9	9	1,1	–	10
Загальне	91	31	–	–	100

Проведений розрахунок частки впливу факторів досліджу на формування урожайності індетермінантних гібридів помідора за 2018–2021 рр. дав змогу встановити вагомість досліджуваних факторів у її формуванні (рис. 4).

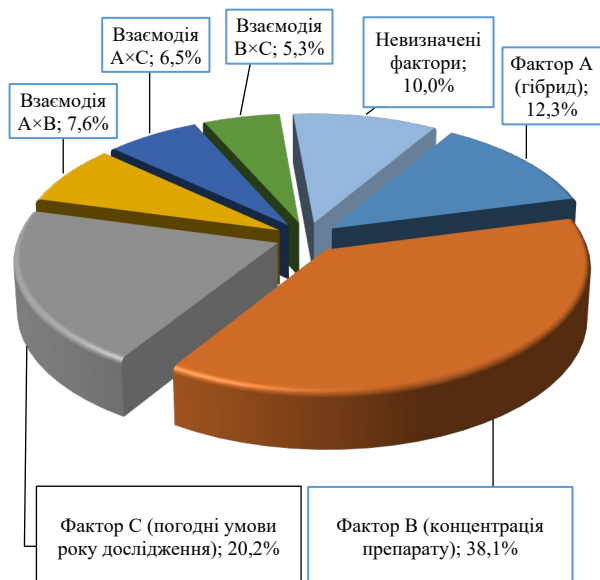


Рис 4. Частка впливу факторів досліджу на урожайність помідора (за 2018–2021 рр.)

Математичний аналіз урожайних даних свідчить про те, що найважливішим фактором у підвищенні урожайності є застосування фунгіциду – мідьмісного препарату Чемпіон, частка участі якого становить – 38,1 %, частка впливу фактору гібриду – 12,3 %, частка впливу погодних умов року дослідження – 20,2 %, частка взаємодії факторів досліджу – 19,4 % та невизначені фактори – 10 %.

Висновки

Узагальнення результатів дослідження засвідчило кількісно підтверджену ефективність фунгіцидного захисту на основі гідроксиду міді в межах концентрацій 6–9 г/л, за яких фіксувалося повне пригнічення фітофторозу, альтернаріозу та бактеріальної плямистості (0 % ураження) порівняно з контролем, де рівень хвороб становив 8,5–11,9 %. У фазах цвітіння та

плодоношення максимальні біометричні параметри формувалися за концентрацій 6–9 г/л: маса рослини – 2247–2550 г, довжина стебла – 299–305 см, площа листової поверхні – 10138–11635 см². Урожайність у середньому за 2018–2021 рр. складала 16,9–17,4 кг/м² та перевищувала показники контрольного варіанту на 6–10 % залежно від концентрації. Дисперсійний аналіз підтвердив найбільшу частку впливу концентрації препарату – 38,1 %, за частки погодних умов – 20,2 % та генотипу – 12,3 %. Сукупність кількісних даних визначила оптимальний рівень фунгіцидного захисту у межах концентрацій 6–9 г/л як технологічне рішення, що забезпечує стабільність фітосанітарного стану, підвищення біометричних параметрів та збереження врожайності у багаторічному циклі досліджень.

Перспективи подальших досліджень можливі при розширенні експериментів у напрямі поєднання оптимальних концентрацій гідроксиду міді з біологічними агентами захисту для створення адаптивних моделей інтегрованого фітосанітарного менеджменту в умовах формування толерантних популяцій збудників в агроценозах Лівобережного Лісостепу України.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Zavadska, O., & Iliuk, N. (2021). The quality of tomato fruits of different hybrids. *SWorldJournal*, 2(08-02), 119–123. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2021-08-02-077>
2. Chernenko, V. L., & Semenenko, I. I. (2012). Polymorphism of the genetic diversity collections tomato greenhouse crops the resistance to Fusarium wilt and other economic-biological characteristics: Message I. *Variance. Scientific Progress & Innovations*, 1, 95–98. <https://doi.org/10.31210/visnyk2012.01.22>
3. Shoty, M. V., Kubrak, S. M., & Yaremenko, S. S. (2014). Seleksiia na shkidlyvist do *Alternaria solani* (Ell. et Mart) Neerg na pomidorakh v umovakh Kyivskoi oblasti. *Ahrobiolohiia: zbirnyk naukovykh prats*, 2(113), 78–80. [in Ukrainian]
4. Abrahamian, P., Jones, J. B., & Vallad, G. E. (2019). Efficacy of copper and copper alternatives for management of bacterial spot on tomato under transplant and field production. *Crop Protection*, 126, 104919. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.104919>

5. Zombre, T. C., Ouattara, B., Zougrana, S., & Some, N. E. (2024). Evaluation of the effectiveness of copper hydroxide $\text{Cu}(\text{OH})_2$ against the main diseases of tomato (*Solanum lycopersicum esculentum*) in Burkina Faso. *Journal of Experimental Agriculture International*, 46(12), 314–324. <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i123138>
6. Cindi, M. D., Shittu, T., Sivakumar, D., & Bautista-Baños, S. (2015). Chitosan boehmite-alumina nanocomposite films and thyme oil vapour control brown rot in peaches (*Prunus persica* L.) during postharvest storage. *Crop Protection*, 72, 127–131. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.03.011>
7. Soh, J.-W., Han, K.-S., Lee, S.-C., Lee, J.-S., & Park, J.-H. (2014). Environment-friendly effects of espil and copper hydroxide for prevention of powdery mildew on cucumber, tomato, and red pepper. *Research in Plant Disease*, 20(2), 95–100. <https://doi.org/10.5423/rpd.2014.20.2.095>
8. Havryliuk, L., Beznosko, I., Humennyi, D., Gentosh, D., & Bashta, O. (2024). Review of the main diseases of *Solanum lycopersicum* and methods of chemical control of pathogens. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 28(4), 32–40. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/4.2024.32>
9. Kuts, O., Katerynychuk, O., Mykhailyn, V., Ilinova, Y., & Soldatenko, O. (2025). Effectiveness of phosphite fertilisers in tomato cultivation technology. *Naukovi Dopovidì Nacional'noho Universitetu Bioresursiv i Prirodokoristuvannâ Ukraini*, 49–60. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/2.2025.49>
10. Potnis, N., Timilsina, S., Strayer, A., Shantharaj, D., Barak, J. D., Paret, M. L., Vallad, G. E., & Jones, J. B. (2015). Bacterial spot of tomato and pepper: diverse *Xanthomonas* species with a wide variety of virulence factors posing a worldwide challenge. *Molecular Plant Pathology*, 16(9), 907–920. <https://doi.org/10.1111/mpp.12244>
11. Han, Y. K., Han, K. S., Lee, S. C., & Kim, S. (2011). Control of bacterial wilt of tomato using copper hydroxide. *Korean Journal of Pesticide Science*, 15, 298–302.
12. Jeong, Y., Kim, J., Kang, Y., Lee, S., & Hwang, I. (2007). Genetic diversity and distribution of Korean isolates of *Ralstonia solanacearum*. *Plant Disease*, 91(10), 1277–1287. <https://doi.org/10.1094/pdis-91-10-1277>
13. Borzykh, O., Serhienko, V., Tkalenko, H., & Shyta, O. (2024). Influence of humic preparations on the efficiency of vegetable crops protection against diseases. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Phytosanitary Safety*, 69, 3–16. <https://doi.org/10.36495/phss.2023.69.3-16>
14. Humenny, D., Havryliuk, L., Beznosko, I., Horgan, T., Gentosh, D., & Bashta, O. (2024). Monitoring of main tomato (*Solanum lycopersicum* L.) diseases and methods of microbiological control of phytopathogens. *Agroecological Journal*, 2, 143–154. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.2.2024.305673>
15. Kristl, J., Sem, V., Kristl, M., Kramberger, B., & Lešnik, M. (2019). Effects of integrated and organic pest management with copper and copper-free preparations on tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) fruit yield, disease incidence and quality. *Food Chemistry*, 278, 342–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.11.079>
16. Shanmugam, S. P., Murugan, M., Shanthi, M., Elaiyabharathi, T., Angappan, K., Karthikeyan, G., Arulkumar, G., Manjari, P., Ravishankar, M., Sotelo-Cardona, P., Oliva, R., & Srinivasan, R. (2024). Evaluation of integrated pest and disease management combinations against major insect pests and diseases of tomato in Tamil Nadu, India. *Horticulturae*, 10(7), 766. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10070766>
17. Alves, A., Ribeiro, R., Azenha, M., Cunha, M., & Teixeira, J. (2023). Effects of exogenously applied copper in tomato plants' oxidative and nitrogen metabolisms under organic farming conditions. *Horticulturae*, 9(3), 323. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9030323>
18. Gajanana, T. M., Moorthy, P. N. K., Anupama, H. L., Raghunatha, R., & Kumar, G. T. P. (2006). Integrated pest and disease management in tomato: An economic analysis. *Agricultural Economics Research Review*, 19(2), 269–280. <https://doi.org/10.1177/0971344120060205>
19. Scott, J. W., Hutton, S. F., Jones, J. B., Francis, D. M., & Miller, S. A. (2006). Resistance to bacterial spot race T4 and breeding for durable, broad-spectrum resistance to other races. *Report of the Tomato Genetics Cooperative*, 56, 33–36.
20. El-Samadisy, A., Ali, F., Helalia, A., & Ali, W. (2008). Chemical and biological control of wilt and damping-off diseases of tomato. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 33(3), 2273–2284. <https://doi.org/10.21608/jppp.2008.217750>
21. Kanwal, I., Ölmez, F., Ali, A., Tatar, M., & Dadaşoğlu, F. (2024). Evaluating the efficacy of fungicides for controlling late blight in tomatoes induced by *Phytophthora infestans*. *Journal of Agricultural Production*, 5(4), 241–247. <https://doi.org/10.56430/japro.1533073>
22. Liu-Xu, L., Ma, L., Farvardin, A., García-Agustín, P., & Llorens, E. (2024). Exploring the impact of plant genotype and fungicide treatment on endophytic communities in tomato stems. *Frontiers in Microbiology*, 15. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1453699>
23. Yang, L., Ren, J., Yang, H., Zhou, T., & Yang, W. (2025). Presence of disease resistance genes in tomato germplasm revealed by gene-based or gene-linked molecular markers. *Molecular Breeding*, 45(4), 34. <https://doi.org/10.1007/s11032-025-01557-1>
24. Jehani, M. D., Mohamed, J. M., Cheemala, S., Nath, B. C., Chonzik, E. K., & Srivastava, S. (2025). From pathogen to protection: Integrated disease management strategies for tomato late blight. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 19(3), 1686–1704. <https://doi.org/10.22207/jpam.19.3.33>

ORCID

V. Sievidov  <https://orcid.org/0000-0002-3826-5149>
 I. Sievidov  <https://orcid.org/0000-0003-1627-8296>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Hermoplasma of common watermelon ((*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) in Ukraine as the basis for the selection of new varieties and hybrids

O. Shabetia✉ | M. Serhiienko

Article info

Correspondence Author
O. Shabetia
E-mail:
iob.vchena@gmail.comInstitute of Vegetable and
Melon Growing of the NAAS
1, Institutskaya st.,
Selektsiynе, Kharkiv rg,
62478, Ukraine**Citation:** Shabetia, O., & Serhiienko, M. (2026). Hermoplasma of common watermelon ((*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) in Ukraine as the basis for the selection of new varieties and hybrids. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 43–48. doi: 10.31210/spi2026.29.01.07

This article summarizes current global approaches to the use of watermelon germplasm and analyzes the potential of Ukrainian genetic resources for breeding new varieties and hybrids. The study utilized the gene pool of common watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) available at the Institute of Vegetable and Melon Growing of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Screening (2023–2025) of 24 homozygous watermelon lines was conducted for phenological, morphological, and economically valuable traits; the data obtained were included in the analysis of the gene pool. Based on the results of the analysis, a description of the general watermelon germplasm population was provided, and the role and significance of Ukrainian collection samples in modern breeding programs were determined. The Ukrainian watermelon gene pool is represented by 645 watermelon samples of various geographical origins. Samples with a monoecious type of female flowers account for 46 %. Based on the results of the phenological study, the general population was divided into maturity groups: early-maturing – 64 %, mid-early – 19 %, mid-maturing – 14 %, and mid-late – 3 %. Twenty-four samples were identified as having the shortest duration of the period from mass emergence to physiological maturity (56–60 days). Yields of samples from the general population of the watermelon gene pool ranged from 5.1 to 74.2 t/ha ($Am = 69.1$), with an average of 29.2 t/ha. Sources were identified that significantly exceeded the standard by 5 to 42% in terms of yield, with yields ranging from 41.1 to 74.2 t/ha. This includes 34 samples. The level of the “marketability” trait ranged from 44 to 100 % ($Am = 56$), with an average trait value in the general population of 94 %. The level of expression of the “average marketable fruit weight” trait in the general population ranged from 2.0 to 6.5 kg ($Am = 4.4$), with an average trait value in the general population of 3.2 kg. Watermelon germplasm is a key factor in the successful breeding of new varieties and hybrids. Ukrainian watermelon genetic resources have high breeding value and can play an important role in the creation of adapted, productive, and competitive varieties and hybrids. Research on the comprehensive evaluation and selection of watermelon breeding material has allowed for the identification of genotypes that correspond to the modeled traits, and their inclusion in the breeding process to create varieties and hybrids with high adaptability will increase the efficiency of breeding efforts, thereby contributing to ensuring food security in Ukraine.

Keywords: watermelon, germplasm, gene pool, selection, morphological traits, biological traits, valuable economic traits.

Гермоплазма кавуна звичайного ((*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) в Україні як основа селекції нових сортів і гібридів

О. М. Шабетя | М. Б. Сергієнко

Інститут овочівництва і
баштанництва НААН
селище Селекційне,
Україна

У статті узагальнено сучасні світові підходи до використання гермоплазми кавуна та надано аналіз потенціалу українських генетичних ресурсів для селекції нових сортів і гібридів. Об'єктом слугував генофонд кавуна звичайного (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai), наявний в Інституті овочівництва і баштанництва НААН. Проведено скринінг (2023–2025 рр) 24 гомозиготних ліній кавуна за фенологічними, морфологічними, господарсько-цінними ознаками, отримані дані включені для аналізу генофонду. За результатами узагальнення надана характеристика генеральної сукупності гермоплазми кавуна, визначено місце та значення українських колекційних зразків у сучасних селекційних програмах. Український генофонд кавуна представлений 645 зразками кавуна різного географічного походження. Зразків, що мають моноєційний тип жіночих квіток складають 46 %. За результатами фенологічного дослідження генеральна сукупність розподілена на групи стиглості: ранньостиглі – 64 %, середньоранні – 19 %, середньостиглі – 14 %, середньопізні – 3 %. З найкоротшою тривалістю періоду від масових сходів до фізіологічної стиглості (56–60 діб) були виділені 24 зразки. Урожайність зразків генеральної сукупності генофонду кавуна варіювала в межах 5,1...74,2 т/га ($Am = 69,1$) при середній 29,2 т/га. Визначено джерела, які за урожайністю достовірно перевищували стандарт від 5 до 42 % урожайність яких становила 41,1...74,2 т/га. Це 34 зразки. Рівень ознаки „товарність” мав значення від 44 до 100 % ($Am = 56$), при середньому значенні ознаки у генеральній сукупності 94 %. Рівень прояву ознаки „середня маса товарного плоду” генеральної сукупності мав значення від 2,0 до 6,5 кг ($Am = 4,4$), при середньому значенні ознаки у генеральній сукупності 3,2 кг. Гермоплазма кавуна є ключовим чинником успішної селекції нових сортів і гібридів. Українські генетичні ресурси кавуна мають високу селекційну цінність і можуть відігравати важливу роль у створенні адаптованих, продуктивних і конкурентоспроможних сортів і гібридів. Дослідження з комплексної оцінки і добору вихідного матеріалу кавуна дозволили виділити генотипи які відповідають модельованим ознакам, а залучення їх у селекційний процес зі створення сортів та гібридів з високою адаптивною здатністю дозволить підвищити ефективність селекційної роботи що сприятиме забезпеченню продовольчої безпеки України.

Ключові слова: кавун, гермоплазма, генофонд, селекція, морфологічні ознаки, біологічні ознаки, цінні господарські ознаки.**Бібліографічний опис для цитування:** Шабетя О. М., Сергієнко М. Б. Гермоплазма кавуна звичайного ((*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) в Україні як основа селекції нових сортів і гібридів. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 43–48.

Introduction

Watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai) is one of the leading melon crops in the world and is of great economic importance for Ukraine. In the context of climate change, growing market demands for product quality, and the need to increase the resistance of varieties to abiotic and biotic factors, the use of a diverse genetic base in breeding programs is becoming particularly relevant. The germplasm of watermelon – the totality of the genetic resources of the crop – is the strategic basis for creating new varieties and hybrids with specified economically valuable traits. The most valuable source of starting material for heterotic breeding is and remains the global gene pool of watermelon collections. Ukrainian researchers [1, 2] believe that studying the global genetic potential of watermelon using a comprehensive approach to identifying stable sources of breeding traits can significantly increase the effectiveness of heterosis breeding of this crop.

Africa is considered to be the center of origin of watermelon, where the greatest diversity of wild forms of the *Citrullus* genus is concentrated. The world germplasm includes wild species, semi-wild forms, local populations (landraces), old varieties, and modern breeding lines. Wild and primitive forms are of particular value as they are sources of resistance to drought, high temperatures, soil salinity, and disease pathogens. The common watermelon (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. et Nakai) is a well-studied crop species that is interesting for genetic research due to its small genome size and many available mutants. The size of the watermelon genome is 424 million base pairs. Sixty genes have been identified in watermelon that control morphological traits and resistance. Genes for the following morphological and physiological traits: fruit – 19 genes, leaf – 8, flower – 1, seed – 9, stem – 1, plant habit – 4, as well as genes that determine sex expression – 2, male sterility – 5, resistance to biotic factors – 10, resistance to abiotic factors – 1 [3, 4].

In terms of watermelon breeding, according to Sych [5], the problem of insufficient realization of yield potential to provide valuable vitamin products remains relevant. This problem can be solved by creating new competitive heterozygous hybrids with a complex of valuable economic traits using the existing germplasm of this crop.

Leading breeding centers around the world (the USA, China, Japan, Spain, Turkey) actively use watermelon germplasm to create hybrids with higher yields, improved taste, and longer shelf life. Considerable attention is paid to the involvement of wild species as donors of genes resistant to biotic factors [6]. In modern breeding, marker-assisted selection and genomic analysis methods are widely used, which allows for more efficient use of global germplasm collections [7].

The main areas of application for watermelon germplasm are the selection of sources of early maturity, high sugar content, intense flesh coloration, and resistance to major diseases and stress factors [8]. The combination of Ukrainian adapted forms with foreign high-yielding lines opens up wide opportunities for the creation of a new generation of hybrids.

In the State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine, the foreign watermelon market is represented by watermelon hybrids by 50 % [9]. The world leader in the creation of heterozygous watermelon hybrids is the Dutch company “Nuemens Zaden”, which annually offers new competitive hybrids, such as: Krisbi, Trofi, Ledi Dumara, Red Komet, Red Star, Dzhonik, and others. The transnational company Seminis is also actively working in this direction, having created the hybrids Krimson Hlori, Madera, Pata nehra, Roial medzhesti, Roial Svit, Red Svit, and others. Breeders in Hungary, China, Japan, and the United States are working intensively on the creation of heterozygous watermelon hybrids [10].

The country's wealth and national heritage include valuable genetic resources, thanks to which we are able to compete with foreign breeding organizations in creating new varieties and hybrids of agricultural crops. As is well known, the global gene pool of watermelon collections is the most valuable source for creating new high-yielding genotypes that combine resistance to biotic and abiotic environmental factors with other economically valuable traits. Studying the global genetic potential of watermelon using a comprehensive approach to identifying stable sources of various traits, incorporating them into hybridization, and then using analytical breeding methods allows us to create diverse source material and use it effectively in varietal and heterosis breeding of this crop [11, 12]. The growing popularity of melons and gourds in private farms has stimulated increased demand for early-maturing heterozygous hybrids, which are characterized by high yields, excellent fruit quality, simultaneous ripening, and attractive appearance. Consumers want new, earlier maturing, and cold-resistant hybrids that not only have excellent taste properties but also a long shelf life and disease resistance. The effectiveness of commercial hybrid breeding largely depends on the availability of diverse source material, which allows for a rapid response to changes in the market situation. Hybrids play a key role in increasing yields, as they combine valuable economic traits and ensure the scientific novelty of breeding developments. Hybrid breeding promotes active interaction between seed producers and breeders, which has a positive impact on the improvement of cultivation technologies and the dissemination of the latest domestic varieties in farms of various forms of ownership [13].

That is why the research was aimed at a comprehensive assessment of the watermelon gene pool, analysis of the potential of Ukrainian genetic resources, and selection of source material for breeding new varieties and hybrids.

The aim of the study

To summarize current global approaches to the use of watermelon germplasm and analyze the potential of Ukrainian genetic resources for breeding new varieties and hybrids.

Materials and methods

Methods: general scientific, measurement and weighing, calculation, statistical. Screening of 24 homozygous lines of common watermelon (*Citrullus*

lanatus (Thumb.) Matsum. et Nakai) was carried out for phenological, morphological, economically valuable traits and resistance of lines to abiotic and biotic factors. The data obtained were included for analysis of the watermelon gene pool. Experimental studies were conducted on the experimental fields of the breeding crop rotation of the Institute of Vegetable and Melon Growing of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, located in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine in the central moderately humid region of the Kharkiv district, Kharkiv region. The climate of the research area is temperate continental. The experiments were conducted in open ground under natural infectious conditions. The object of the research was collection samples of the gene pool of common watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai). The area of the plot was 19.6 m². The experiment was repeated twice. A comprehensive assessment of the samples was carried out according to phenological, morphological, economically valuable characteristics, and resistance to abiotic and biotic factors. The research was conducted in accordance with generally accepted methods [14–17]. Statistical processing of the research results was performed using statistical methods in biology [18]. The mathematical processing of the obtained research results was carried out using the Statistica 6 program. The watermelon cultivation technology corresponded to the generally accepted technologies for this soil and climatic zone [15, 19].

Results and discussion

Research work on the formation of the gene pool of common watermelon began in 2007. Every year, new introduced samples were screened to form the gene pool and to identify sources of valuable traits of common watermelon (*Citrullus lanatus* (Thumb.) Matsum. et Nakai) based on phenological, morphological, economically valuable traits, and resistance to abiotic and biotic factors. Based on the results of many years of research, a comprehensive assessment of 645 watermelon samples was carried out, including 24 new lines created at the IOB NAAS in 2023–2025. The data obtained were included in the analysis of the watermelon gene pool. The Ukrainian watermelon gene pool is represented by samples of various geographical origins: Ukraine, Japan, China, Korea, Poland, the Czech Republic, the Netherlands, France, the USA, Mongolia, and Romania. The samples were evaluated according to a number of valuable breeding characteristics: sex type, ripeness group, yield components, resistance to biotic and abiotic factors, and fruit quality.

A significant number of samples have a common valuable trait for creating female lines for heterosis breeding – monoecious female flowers (46 %). Based on the results of their study, a number of samples with high indicators and other economically valuable characteristics were selected: De la Reina, Kyt 100326, Kyt 100322, Kyt 10061, LMS 1 Pr, Kyt 10080, Slavutych, Yuzh, Dub, Kyt 100324, Kyt 100327, Line 39, Misiats i zirky, Kodata cream, Nishiki jamato, Chumak, Klen, Mistsevyi Khakasiia, Leshchyna, Wm 14 D 1/1, Wm 16 D 2, Wm 18 D 4, Wm 19 D 5, Wm 20 D 6, K 104135, Dub,

Form 4, Form 4 ts, Uslad, Semik, No. 5 F, Pershyi, K 104916, k 107633a, Symaryn, Klonoline.

To determine the duration of the growing season, watermelon samples were divided into maturity groups: early maturing (up to 80 days) – 64 %; medium early (81–85 days) – 19 %; medium maturing (86–95 days) – 14 %; mid-late (96–105 days) – 3 %; and late-ripening (more than 105 days) – 0 %. **Figure 1** shows the distribution of the general population of watermelon samples by ripeness groups.

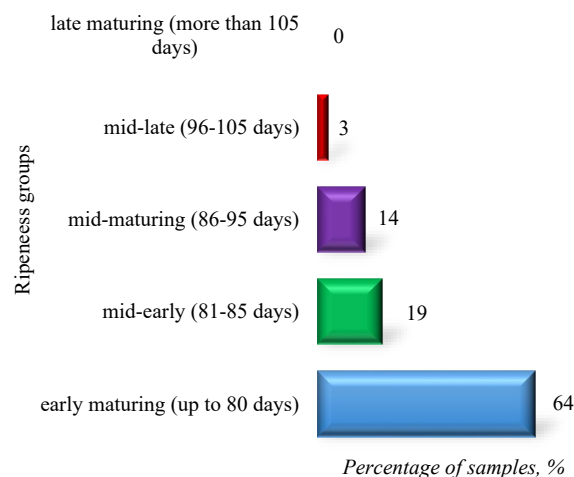


Fig. 1. Distribution of watermelon samples by ripeness groups (average for three years of study for each sample), 2007–2025

A significant number of samples studied belong to the early maturity group. Early samples were selected for early ripening, which during the three-year study consistently had a “germination-ripening” period of less than 60 days: KS 9333 (52 days), Kyt 100329/00 (54 days), Kyt 100329/97, Kyt 100329/98, Kyt 100329/99, Kyt 100329/01, Kyt 10080/11, Kyt 103328/30, Kyt 103328/33, LMS/1 pr, Kyt 100659/97, Ledy 104447, Kyt 100328/32, L Slava, Kyt K 104992, Kyt 10061/08, K 100327/29, 105026/26 (55 days); Kyt 10061/10, Kyt 100326/23, (58 days). To confirm the statistical dependence of the “length of the growing season” trait on environmental factors, the sample was ranked according to the “length of the sprouting-maturation period” trait. The calculated Spearman's rank correlation coefficient was $\rho = 0.69$, which, according to the Chaddock scale, indicates a significant correlation. Samples with the shortest individual interphase periods were also selected, which are suitable for use in obtaining maternal or paternal lines in the selection process when creating early-maturing heterozygous hybrids.

In 2023–2025, 24 new homozygous watermelon lines were comprehensively evaluated and included in the general watermelon gene pool. Based on the results of phenological studies, the samples were divided into groups according to ripeness: early ripening – 12 samples, medium early ripening – 8 samples, medium ripening – 4 samples. The most numerous group was the early ripening samples – 50 %. The samples with the shortest period from mass germination to physiological ripeness (56–60 days) were: Shar, Skarbnytsia, Mia-19, and VO-19.

The watermelon gene pool was evaluated based on the yield of samples, with each sample undergoing a three year evaluation between 2007 and 2025.

Figure 2 shows the distribution of watermelon samples by yield into three groups according to the mean value of the trait and its standard deviation separately for each year of the study.

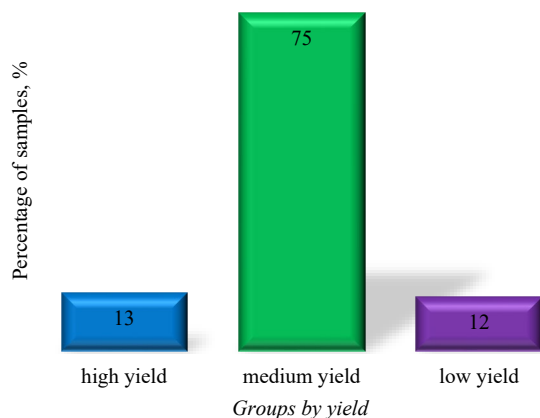


Fig. 2. Distribution of watermelon gene pool samples by yield, 2007–2025

Note: Groups 1-3 by yield: 1 – high yield; 2 – medium yield; 3 – low yield

The yield of samples from the general population of the watermelon gene pool varied between 5.1 and 74.2 t/ha ($Am = 69.1$) with an average of 29.2 t/ha. Sources that significantly exceeded the standard by 5 to 42 % in terms of yield were identified: Kyt 10061, Lms 1Pr, Leshchyna, Chumak, Kyt 10080, Yuzh, Dub, Krymson svyt, Charly, Asar, Liniia 46, Misiats i zirky, Monholiia, Line 39,

Monholiia 2, Sample from China, No. 5F, No. 543, Semik, Lad, A-14 Tur, Yatum 2, Yatum, Lypa, Yasen, LS-1665F1, Tsilnolystnyi, Mak), Zoria, Ket Br-19, Rada and No. 5 F, with yields ranging from 36.6 to 74.2 t/ha.

The total yield of samples evaluated in 2023–2025 and included in the watermelon gene pool varied between 16.6–62.4 t/ha in 2023; 18.9–40.8 in 2024; and 16.1–29.9 in 2025 (**Table 1**).

The level of the “marketability” trait ranged from 44 to 100 % ($Am = 56$), with an average value of 94 % in the general population. The level of the “marketability” trait in samples evaluated in 2023–2025 ranged from 94.1 to 98.2 %. The following samples had a marketability level of 100 % during the three-year trial: Lms 1Pr, ShRB 2, Slavutych, Yuzh, Dub, Charly, Misiats i zirky, Monholiia, Konho, and Suika Swet, which were identified as sources of high marketability.

The level of manifestation of the trait “average weight of marketable fruit” in the general population ranged from 2.0 to 6.5 kg ($Am = 4.4$), with an average value of 3.2 kg in the general population. The sources were determined by large fruit size – samples with an average fruit weight of 3.2 to 6.2 kg: Line 39 (6.2 kg), Misiats i zirky (4.6 kg), Charly (4.5 kg), Chumak L (4.2 kg), Line No. 46 (4.0 kg), Asar (4.1 kg), Zhyzel (3.5 kg), Yasen (3.6 kg), Yuzh and Dub (3.8 kg), Sample from China (3.3 kg), Konho, De la Reina, and Monholiia 2 (3.2 kg). In studies conducted in 2023–2025, the average weight of marketable fruit from collection samples ranged from 1.5 to 6.5 kg. The average weight of marketable fruit of the Maks Plus standard was 3.3 kg. The highest average weight of marketable fruit over the three years of research was recorded for the following samples: LP-19 – 4.3 kg and Zorya 3.5 kg.

Table 1

Characteristics of samples evaluated in 2023–2025 and included in the watermelon gene pool, by yield components

Catalog No. Description	Linear output material	Total yield, t/ha				Marketability, %	Average weight of marketable fruit, kg			
		2023	2024	2025	average		2023	2024	2025	average
DN	Maks Plus st	40.6	35.7	26.8	34.4	96.5	3.3	3.7	2.8	3,3
109508	Mak	55.1	26.5	22.5	34.7	95.8	3.9	3.4	2.6	3,3
109511	Shar	33.0	28.6	21.5	27.7	95.2	2.7	2.0	1.5	2,1
109450	Bor	34.9	23.5	18.8	25.7	96.4	2.8	2.3	1.7	2,3
109502	Lypa	41.6	24.5	20.8	29.0	97.5	3.5	3.2	2.4	3,0
109512	Metiu	27.6	27.7	20.7	25.3	94.4	2.6	3.0	2.3	2,6
107631	Rada	36.5	41.8	31.4	36.6	96.5	3.2	2.8	2.1	2,7
107717	Skarbnytsia	31.6	30.6	23.0	28.4	96.8	3.2	2.3	1.7	2,4
106779	Zoria	53.3	34.7	26.0	38.0	97.6	3.5	4.0	3.0	3,5
107630	Ket Br -19	53.8	39.8	29.9	41.2	96.7	3.2	3.7	2.8	3,2
109505	Leshyna	24.2	20.4	15.3	20.0	94.7	2.3	2.2	1.7	2,1
104944	ChB -19	43.1	18.9	16.1	26.0	95.9	2.7	2.3	1.7	2,2
105465	Miia-19	36.2	28.6	21.5	28.8	97.2	2.5	2.0	1.5	2,0
105454	VO -19	32.1	36.7	27.5	32.1	97.6	2.6	2.3	1.7	2,2
104315	GA -48-19	44.9	27.6	20.7	31.1	95.5	2.9	2.8	2.1	2,6
104946	D56B-19	46.0	33.7	25.3	35.0	98.2	3.1	3.2	2.4	2,9
104927	Kira	30.1	22.4	20.2	24.2	96.6	2.7	2.7	2.0	2,5
107935 a	Sich	47.3	32.7	27.8	35.9	97.8	3.1	3.4	2.6	3,0
106033	LPB 44-19	34.7	35.7	27.5	32.6	97.1	2.8	3.0	2.3	2,7
104907	Fantaziia	31.1	27.6	20.7	26.5	95.9	3.3	2.8	2.1	2,7
104752	YuZh	16.6	23.5	20.0	20.0	96.9	2.3	2.4	1.8	2,2
104134	Taniusha	31.9	29.6	22.2	27.9	96.0	2.7	2.3	1.7	2,2
104072	Lenok	21.6	20.4	18.4	20.1	94.1	2.3	2.0	1.5	1,9
107636	LP-19	32.4	22.4	17.9	24.2	94.5	2.6	6.5	3.9	4,3
107935	No. 5F	62.4	30.6	26.0	40.0	98.2	3.6	3.6	2.7	3,3
	Lim	16,6-62,4	18,9-40,8	16,1-29,9	20,0-41,2	94,1-98,2	2,3-3,9	2,0-6,5	1,5-3,9	1,9-4,3
	Am	45,8	21,9	13,8	21,2	4,1	1,6	4,5	2,4	2,4

The level of solar insolation during fruit formation determined the dry soluble matter content in watermelon samples and ranged from 5.0 to 12.0 %. The proportion of samples with dry soluble matter content in fruits ranging from 8.0 to 13.0 % was 75 %. Based on the dry soluble matter content in the fruit, the samples were divided into three groups: low dry soluble matter content (<8.0 %) – 25 %; medium (8.0–10.0 %) – 52 %; and high (>10.0 %) – 23 %.

The sources with the highest dry soluble matter content in fruits have been identified: Klon and Yemen (13.0 %), Maks Plus (12.0 %), Chumak, Kyt 10080, GA-48, Dub, Zhyzel, Charly (11.0 %); Kyt 10059, Misiats i zirky, Yasen, Krymson svyt, Hrybovskyi, Kyt 10061, and Leshchyna (10.0 %).

The results of the research have determined the genotypic diversity according to valuable selection traits: the duration of the growing season, the components of its interphase periods, the components of yield, and the chemical composition of the fruit. About 400 sources of valuable breeding traits have been identified: yield, early maturity, high marketability, monoecy, and high fruit quality. The identified sources of valuable economic traits have been included in breeding programs to create new genotypes with specified parameters.

Ukraine has developed a unique watermelon gene pool, which includes local varieties, breeding lines, and introduced material of various ecological and geographical origins. Domestic germplasm is characterized by high adaptability to the conditions of the Steppe and Forest-Steppe, drought resistance, and the ability to form stable yields under limited moisture conditions. Ukrainian samples are a valuable source material for the creation of competitive varieties and hybrids aimed at both domestic and foreign markets. Recently, significant progress has been made in the development of breeding in Ukraine in the creation of high-yielding varieties and hybrids of watermelon. Research by leading scientists in the field of special genetics, biotechnology, and heterosis genetics is of great importance for the development of a modern theoretical basis for varietal and heterotic watermelon breeding and its practical application for the creation of competitive varieties and hybrids that would be widespread in production [20].

Serhiienko et al. [21] pay much attention to the development of a theory of selection of parental components for hybridization, criteria for evaluating breeding material and its selection, methods of genetic control of breeding traits and their inheritance and resistance to biotic and abiotic factors. Lyman et al., [17] noted the importance and peculiarities of heterotic selection of watermelon in the breeding process with melon crops using morphologically identified source forms as parental components of heterotic F₁ hybrids.

Global experience in watermelon breeding shows that the key factor in creating competitive varieties and hybrids is the widespread use of genetic resources of different ecological and geographical origins. In the US and China, considerable attention is paid to pre-breeding programs using wild relatives *Citrullus amarus*, *C. colocynthis*, and local landraces as donors of genes for

resistance to fusarium wilt, anthracnose, viruses, and abiotic stresses [22]. In EU countries (Spain, Italy, France), germplasm is actively used to improve fruit quality, transportability, and suitability for long-term storage [23].

Modern breeding programs increasingly combine classical hybridization methods with molecular genetic approaches, including marker-assisted selection (MAS), SNP-based genotyping, and genomic studies of germplasm collections. This makes it possible to identify valuable alleles and integrate them more effectively into the breeding process. Against this backdrop, Ukrainian watermelon germplasm, formed in the arid climate of the south, has high potential as a source of adaptability and yield stability.

Accelerating the breeding process remains extremely relevant today. To this end, it is necessary to use existing methods, improve them, and develop new effective methods for evaluating and accelerating the creation and selection of source material at various stages of breeding work [12]. It is particularly important to emphasize the practical significance of national genetic resources. Their targeted use, combined with global achievements in breeding science, can become the basis for the creation of domestic watermelon hybrids that are competitive on the international market.

Conclusions

Watermelon germplasm is a key factor in the successful breeding of new varieties and hybrids. Ukrainian watermelon genetic resources have high breeding value and can play an important role in the creation of adapted, productive, and competitive varieties in combination with global achievements in breeding science. Research on the comprehensive assessment and selection of watermelon source material has made it possible to identify genotypes that correspond to the modeled traits, and their involvement in the breeding process to create varieties and hybrids with high adaptive capacity will increase the effectiveness of breeding work, which will contribute to ensuring food security in Ukraine.

DECLARATIONS

Ethical Statement

Not applicable.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The authors declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

- Kirian, V., Hlushchenko, L., & Bohuslavskyi, R. (2021). Dnipropetrovska and Kharkivska oblasts plant genetic resources. *Genetični Resursi Roslin (Plant Genetic Resources)*, 28, 19–35. <https://doi.org/10.36814/pgr.2021.28.02>
- Linnik, Z., Mytenko, I. M., & Sergienko, O. (2021). Comparative varieties characteristics of watermelon accessions of ukrainian and foreign breeding. *Genetični Resursi Roslin (Plant Genetic Resources)*, 28, 71–77. <https://doi.org/10.36814/pgr.2021.28.07>
- Rhodes, B., & Zhang, X. (1995). Gene list for watermelon. *Cucurbit Genetics Cooperative Report*, 18, 69–84.
- Horbatenko, I. Yu., Kholodniak, O. H., & Shvartau, V. V. (2011). *Kavun: perelik heniv: metodichni rekomendatsii* [Watermelon: list of genes: guidelines]. Kyiv: Lohos [in Ukrainian]
- Sych, Z. D. (2012, 8 hrudnia). *Top sortiv kavuna dlia kozhnogo rehionu Ukrainy*. SontseSad. Retrieved from: [https://soncesad.com/statti/ovochi/kavuni/kavun-smachni-liki-iz-vlasnogo-gorodu-\(zhurnal-soncesad-№4/2021\).html](https://soncesad.com/statti/ovochi/kavuni/kavun-smachni-liki-iz-vlasnogo-gorodu-(zhurnal-soncesad-№4/2021).html)
- Choudhary, B. R., Berwal, M. K., & Saroj, P. L. (2022). YF 5-2-7 (IC-633085)(IC0633085; INGR20117), a watermelon (*Citrullus lanatus*) germplasm with saffron coloured flesh and high carotenoid content. Non-lobed (entire) leaves. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*, 35 (1), 145.
- Zhao, Z., Pei, S., Song, Y., Yang, T., Gao, Y., Chai, H., Luan, F., Zhu, Z., & Wang, X. (2024). Molecular markers and marker-assisted selection provide genetic insights for identifying key quantitative trait locus for watermelon rind thickness. *International Journal of Molecular Sciences*, 25 (19), 10341. <https://doi.org/10.3390/ijms251910341>
- Choudhary, H., Padmanabha, K., Jat, G. S., & Behera, T. K. (2023). Challenges of traditional breeding in watermelon. *The Watermelon Genome*, 85–130. https://doi.org/10.1007/978-3-031-34716-0_7
- Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. (2023). *Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2023 rik* [State register of plant varieties suitable for distribution in Ukraine for 2023]. Retrieved from: <https://sops.gov.ua/derzavnyi-reestr> [in Ukrainian]
- FreshPlaza. (2023, June 30). *Global market overview melons and watermelons*. <https://www.freshplaza.com/north-america/article/9541644/global-market-overview-melons-and-watermelons/>
- Serhiienko, O. V., Linnik, Z. P., & Serhiienko, M. B. (2022). Adaptive potential of a watermelon collection for performance indicators. *Plant Breeding and Seed Production*, 122, 79–90. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2022.271758>
- Serhiienko, O., Shabetia, O., Linnik, Z., Serhiienko, M., & Melnyk, O. (2023). Selection of highly adaptive source material of watermelon for selection for early ripening. *Scientific Horizons*, 26 (8), 42–51. <https://doi.org/10.48077/scihor8.2023.42>
- Shablya, O. S., & Kholodnyak, O. G. (2021). Organizational and marketing approach to the process of selection of new varieties of machine crops in the southern region of Ukraine. *Vegetable and Melon Growing*, 69, 131–139. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2021-69-131-139>
- Horova, T. K., & Yakovenko, K. I. (Eds.). (2001). *Suchasni metody selektsii ovochevykh i bashtannykh kultur* [Modern methods of selection of vegetable and melons]. Osnova [in Ukrainian]
- Yakovenko, K. I. (2001). *Suchasni tekhnologii v ovoshchivnytstvi* [Modern technologies in vegetable production]. IOB UAAN [in Ukrainian]
- Korniienko, S. I. (Ed.). (2016). *Metodychni pidkhody doboru ta stvorennia vykhidnoho materialu u heterozyinii selektsii kavuna* [Methodical approaches to selection and creation of watermelon source material in heterosis selection]. TOV «Nilan-LTD» [in Ukrainian]
- Lymar, A. O., Snihovyi, V. S., Sokolova, V. K., Frolov, V. V., & Kholodniak, O. H. (2001). *Metodyka selektsiinoho protsesu ta provedennia polovykh doslidiv z bashtannymy kulturamy: metodichni rekomendatsii* [Methodology of the selection process and conducting field experiments with melons and gourds: methodical recommendations]. Agrarna nauka [in Ukrainian]
- Pryluts'kyi, Yu. I., Ilchenko, O. V., Tsymbaliuk, O. V., & Kosterin, S. O. (2017). *Statystychni metody v biolohii: Pidruchnyk* [Statistical methods in biology: Textbook]. Naukova Dumka [in Ukrainian]
- Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2009). *Kavun, dynia, harbut. Tekhnolohiia vyroshchuvannia. Zahalni vymohy: DSTU 5045:2008* [Watermelon, melon, pumpkin. Growing technology. General requirements: State Standard 5045:2008]. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91683 [in Ukrainian]
- Orliuk, A. P., & Didenko, V. P. (2009). *Teoretychni ta praktychni aspekty selektsii bashtannykh kultur: monohrafiia* [Theoretical and practical aspects of the selection of melon crops: a monograph]. Ailant [in Ukrainian]
- Serhiienko, O. V., Mohyl'na, O. M., Linnik, Z. P., & Lukianchykova, O. A. (2020). *Metodychni pidkhody z vykorystannia identyfikovanoho za morfolohichnymi henamy liniinoho materialu u heterozyinii selektsii kavuna* [Methodological approaches to the use of linear material identified by morphological genes in heterosis breeding of watermelon]. Tvory [in Ukrainian]
- Maheshwari, S. K., Devi, R., Choudhary, B. R., Singh, P. P., & Khatri, B. R. (2022). Watermelon [*Citrullus lanatus* (Thunb) Mansf.]: Key diseases and their management. *Diseases of Horticultural Crops*, 417–432. <https://doi.org/10.1201/9781003160397-23>
- Levi, A., Jarret, R., Kousik, S., Patrick Wechter, W., Nimmakayala, P., & Reddy, U. K. (2017). Genetic Resources of Watermelon. *Genetics and Genomics of Cucurbitaceae*, 87–110. https://doi.org/10.1007/7397_2016_34

ORCID

O. Shabetia  <https://orcid.org/0000-0002-9684-6355>
M. Serhiienko  <https://orcid.org/0000-0002-2168-6326>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

The effect of fertilizers on the yield and quality of sunflower seeds when grown in the conditions of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine

V. Hanhur[✉] | I. Poliakov | M. Chernysh | V. Solianyk | A. Hospodynko

Article info

Correspondence Author

V. Hanhur

E-mail:

volodimirgangu@gmail.comPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine

Citation: Hanhur, V., Poliakov, I., Chernysh, M., Solianyk, V., & Hospodynko, A. (2026). The effect of fertilizers on the yield and quality of sunflower seeds when grown in the conditions of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 49–54. doi: 10.31210/spi2026.29.01.08

The study of increasing the productivity of sunflower (*Helianthus annuus* L.) as one of the leading and most economically profitable oil crops in the agricultural sector of Ukraine is relevant. Taking into account the strategic importance of sunflowers on the global vegetable oil market, where Ukraine plays a key role, the research focused on optimizing the technological methods of its cultivation, in particular through the rational use of mineral fertilizers. The aim of the research was to determine the effect of different fertilization levels on the yield and quality parameters of seeds of sunflower hybrids of different biotypes. The research was conducted during 2024–2025 at the experimental field of the Poltava State Agricultural Research Station named after M. I. Vavilov. It was found that fertilizer application increased the yield of the Yariło hybrid by 0.40–0.61 t/ha (26.5–40.4 %). The maximum result was obtained with the $N_{90}P_{100}K_{90}$ rate. It was found that the exclusion of potassium ($N_{90}P_{100}$) did not lead to a significant yield loss, with a difference of only 3.9 %. The highest yield of the Ravelin hybrid (2.14 t/ha) was observed when $N_{90}P_{100}K_{90}$ was applied, which is 40.8 % higher than the control variant. Nitrogen-phosphorus fertilization also proved highly efficient, with seed yield increasing by 32.9–38.2 % compared to the control. The mid-season hybrid Guslar showed the highest sensitivity to the nutrient supply. The maximum yield (2.27 t/ha) was obtained with the application of mineral fertilizers at a dose of $N_{90}P_{100}K_{90}$, which was 32.0 % higher than the variant without fertilizers. Special attention in the study was given to analyzing the effect of mineral nutrition levels on seed oil content. It has been established that intensification of the sunflower fertilization system and increased yields lead to a gradual decrease in oil content. Even minimal doses of $N_{50}P_{60}$ fertilizers reduced oil content by 0.5–0.9 %, depending on the biological characteristics of the hybrid. The highest seed quality was observed in the control variant without fertilizers. It has been proven that although complete mineral fertilizer (NPK) is the most effective in terms of its impact on seed yield formation, the role of potassium in the soils where the study was conducted is less pronounced compared to nitrogen and phosphorus. The results prove that the optimal fertilizer dose should be based on the biological characteristics of a specific hybrid in order to achieve a balance between yield and oil content.

Keywords: sunflower, hybrid, mineral fertilizers, nitrogen, phosphorus, potassium, yield, oil content.

Вплив добрив на урожайність та якість насіння соняшнику за вирощування в умовах Лівобережного Лісостепу України

В. В. Гангур | І. А. Поляков | М. Р. Черниш | В. А. Соляник | А. С. Господицько

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Вивчення питання підвищення продуктивності соняшнику (*Helianthus annuus* L.) як однієї з провідних та найбільш економічно вигідних олійних культур в аграрному секторі України є актуальним. Метою досліджень було з'ясувати вплив різних рівнів удобрення на урожайність та параметри якісних показників насіння гібридів соняшнику різних біотипів. Дослідження проведено впродовж 2024–2025 рр., на дослідному полі Полтавської ДСГДС ім. М. І. Вавилова. Встановлено, що внесення добрив забезпечило збільшення урожайності гібриду Ярило на 0,40–0,61 т/га (26,5–40,4 %). Максимальний результат отримано за норми $N_{90}P_{100}K_{90}$. Виявлено, що виключення калію ($N_{90}P_{100}$) не призводило до істотного недобору урожаю, різниця становила лише 3,9 %. Найвищий рівень урожайності гібриду Равелін (2,14 т/га) зафіксовано у разі застосування $N_{90}P_{100}K_{90}$, що на 40,8 % перевищує контрольний варіант. Азотно-фосфорне живлення також продемонструвало високу ефективність, зокрема приріст урожайності насіння становив 32,9–38,2 % відносно контролю. Середньостиглий гібрид Гуслар виявив найвищу чутливість до фону живлення. Максимальну врожайність (2,27 т/га) досягнуто за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{100}K_{90}$, що на 32,0 % вище за варіант без добрив. Особливу увагу в роботі приділено аналізу впливу рівня мінерального живлення на олійність насіння. Встановлено, що інтенсифікація системи удобрення соняшника та збільшення врожайності призводять до поступового зниження вмісту олії. Навіть мінімальні дози добрив $N_{50}P_{60}$ знижували олійність на 0,5–0,9 % залежно від біологічних особливостей гібриду. Найвищі якісні показники насіння спостерігали на контрольному варіанті без добрив. Доведено, що хоча повне мінеральне добриво (NPK) є найбільш ефективним за впливом на формування урожайності насіння, проте роль калію на ґрунтах, де проводили дослідження, є менш вираженою порівняно з азотно-фосфорними.

Ключові слова: соняшник, гібрид, мінеральні добрива, азот, фосфор, калій, урожайність, олійність.



Бібліографічний опис для цитування: Гангур В. В., Поляков І. А., Черниш М. Р., Соляник В. А., Господицько А. С. Вплив добрив на урожайність та якість насіння соняшнику за вирощування в умовах Лівобережного Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 49–54.

Вступ

Соняшник (*Helianthus annuus* L.) належить до групи провідних та найбільш економічно вигідних культур у сучасному аграрному виробництві України. Саме цій культурі належить чільне місце на світовому ринку рослинних олій як за обсягами вирощування, так і за експортним потенціалом. Розширення площ його вирощування та розроблення нових і вдосконалення існуючих технологічних прийомів зумовили збільшення валового виробництва насіння соняшнику [12].

Високий генетичний потенціал продуктивності культури, її стійкість до мінливих погодних умов та стабільний попит на насіння соняшнику та продукти його переробки на європейському ринку спонукають аграріїв активно розвивати цей напрям. Це, зокрема, зумовлює необхідність ретельного добору та висіву нових високоврожайних гібридів, здатних забезпечити максимальний рівень урожайності та олійності насіння [5, 6], розроблення і застосування науково обґрунтованої системи удобрення [4].

Соняшник протягом усього періоду вегетації характеризується підвищеними вимогами до мінерального живлення, зокрема до забезпеченості ґрунту макроелементами – азотом, фосфором і калієм, а також мікроелементами – бором, цинком та марганцем. Вміст поживних речовин у ґрунті та ступінь їх доступності кореневій системі рослин значною мірою визначають рівень урожайності цієї культури. Досягти максимальної продуктивності та економічної віддачі можливо лише за умов науково обґрунтованого застосування комплексу агротехнічних заходів, серед яких ключові позиції належать збалансованій системі удобрення [2, 14, 15].

Соняшник, порівняно із зерновими культурами, характеризується подовженим періодом засвоєння поживних речовин та значно більшою їх потребою. У досліді Полтавської ДСГДС ім. М.І. Вавилова, за розрахунку балансу поживних речовин встановлено, що із врожаєм насіння 2,0–2,5 т/га соняшник виносить із ґрунту 120–140 кг/га азоту, 50–65, фосфору та понад 300 кг/га калію [16]. Подібні дані щодо використання елементів живлення із ґрунту на формування врожаю соняшника одержано В. А. Мазуром із співавторами [10].

Результати досліджень одержані в різних науково-дослідних установах показали, що дефіцит азоту негативно позначається на формуванні кошика [3, 23], а його надлишок призводить до зниження олійності насіння та посиленого вегетативного росту [22, 17]. Дефіцит фосфору зумовлює гальмування фізіологічних процесів пов'язаних із формуванням та наливом сім'янок, достатня його вміст сприяє підвищенню посухостійкості рослин та олійності насіння фосфору або калію призвів до змін хімічного складу листової маси рослин соняшнику [1].

Alipatra із співавторами [18] дослідили, що оптимальна доза азоту під соняшник становить 80 кг/га, але ефективність її найбільш повно реалізовується в поєднанні з удобренням фосфором, калієм, сіркою. Дослідженнями К. Гомеса та співвиконавців [19] підтверджено, що ефективність внесення

мінеральних та органічних добрив під соняшник підвищується у разі проведення зрошення. У свою чергу, дослідження Milev (2015) [21] свідчить про краще реагування соняшнику на багатокомпонентні мінеральні добрива, що забезпечує збільшення врожайності та поліпшення якості насіння.

У ході польових досліджень Хаммад із співавторами [20] встановили, що соняшник потребує помірних доз мінеральних добрив NPK і позитивно реагує як на внесення органічних добрив, так і на надходження органічної речовини до ґрунту у вигляді рослинних решток, зокрема солом.

Отже, аналіз джерел наукової літератури показує, що внесення мінеральних добрив під соняшник є ефективним заходом управління врожайністю культури. Для одержання максимального ефекту від їх застосування необхідно використовувати індивідуальний підхід до визначення оптимальної дози добрив, зокрема, враховувати біокліматичний потенціал регіону, біологічні вимоги сучасних гібридів до фону живлення.

Мета дослідження

Мета досліджень – з'ясувати вплив різних рівнів удобрення на урожайність та параметри якісних показників насіння гібридів соняшнику різних біотипів.

Завдання дослідження – дослідити вплив фону мінерального живлення на урожайність насіння гібридів соняшнику; визначити вплив різних доз мінеральних добрив на олійність насіння соняшнику.

Матеріали і методи

Дослідження проводили на Полтавській ДСГДС імені М. І. Вавилова у короткотерміновому польовому досліді. Земельна ділянка, де проводили дослідження, представлена чорноземом типовим малогумусним. За даними агрохімічних аналізів у шарі ґрунту 0–20 см міститься 3,4 % гумусу, що відповідає середньому рівню забезпеченості органічною речовиною. Реакція ґрунтового розчину слабокисла – рН сольове 5,9. В орному шарі вміст легкогідролізованого азоту (за методом Тюріна і Конової) дорівнює 6,14 мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору (за Чириковим) – 16,8 мг/100 г, обмінного калію (за Масловою) – 21,8 мг/100 г.

Площа ділянки: посівна – 112,0 м², облікова – 56,0 м². Повторність дослідних варіантів триразова. У досліді вирощували наступні гібриди соняшнику: Ярило (ранньостиглий), Равелін (середньоранній), Гусяр (середньостиглий). Сівбу гібридів соняшнику здійснювали широкорядним способом із шириною міжрядь 0,70 м. Строк сівби припав на кінець другої декади квітня, за стабільного прогрівання ґрунту до 7–8 °С на глибині загортання насіння. Густота стояння рослин при цьому становила 50 тис. шт./га. Схема удобрення передбачала наступні варіанти: контроль (без добрив); N₅₀P₆₀; N₇₀P₈₀; N₉₀P₁₀₀; N₉₀P₁₀₀K₉₀.

Погодні умови у роки проведення досліджень (2024–2025) мали певні відхилення відносно середніх багаторічних значень. Так, середньомісячна

температура весняного періоду 2024 р. становила 10,5 °С, або була на 1,5 °С нижчою за середній багаторічний показник. Впродовж весняних місяців сума опадів становила 129 мм, що на 5,3 % більше за норму. За літній період 2024 р. випало 127,7 мм опадів за суми позитивних середньодобових температур 1969 °С, що перевищувало норму, відповідно 193,3 мм і 1671 °С. Однак, слід зазначити, що умови зволоження та температурний режим упродовж періоду інтенсивного росту соняшнику часто не відповідали його біологічним вимогам. Зокрема, дефіцит вологи спостерігали у липні і серпні, що мало негативний вплив на формування врожайності.

Весняні умови 2025 р. загалом були помірно сприятливими для розвитку польових культур, за винятком першої декади травня, в якій фіксували приморозки на поверхні ґрунту. Погодні умови літнього періоду переважно відповідали агрокліматичним вимогам соняшнику, за винятком серпня, коли спостерігали істотний дефіцит опадів на фоні високих температур повітря.

Для оцінки продуктивних і якісних показників гібридів проводили наступні спостереження та обліки.

За проведення обліку врожайності соняшнику кошики зрізали вручну з облікової площі ділянок з подальшим їх обмолотом за допомогою зернозбирального комбайна «Сампо-500». Олійність насіння соняшнику визначали в агрохімічній лабораторії методом Рушковського [8].

Математичну обробку результатів польових та лабораторних дослідів виконували за допомогою методу дисперсійного аналізу [7].

Результати та їх обговорення

Одним із дієвих чинників управління насіннєвою продуктивністю соняшнику є раціональне використання мінеральних добрив. Їх використання зумовлює прямий вплив на рослини, тобто дія мінеральних добрив має безпосередній вплив на збільшення врожайності насіння, забезпечуючи біологічні вимоги культури до споживання елементів мінерального живлення.

Одержані експериментальні дані польового дослідження також засвідчили вагоме значення мінеральних добрив у формуванні врожаю насіння соняшнику (рис. 1). Так, вирощування соняшнику ранньостиглого гібриду Ярило на фоні різних доз мінеральних добрив сприяло підвищенню врожайності насіння на 0,40–0,61 т/га або 26,5–40,4 % порівняно з контролем. Результати дослідження свідчать, що різні дози азотно-фосфорних добрив, зокрема N₅₀P₆₀ до N₇₀P₈₀ і N₉₀P₁₀₀ мали практично рівнозначний вплив на продуктивність культури. При цьому різниця між варіантами удобрення за урожайністю насіння становила лише 0,03–0,13 т/га. Максимальну урожайність насіння формував гібрид соняшнику Ярило за внесення N₉₀P₁₀₀K₉₀. Однак дослідження свідчать, що у разі виключення калію і внесення лише N₉₀P₁₀₀ різниця в урожайності між варіантами удобрення була не істотною становила лише 0,08 т/га або 3,9 %.

Найвищу врожайність насіння середньораннього гібриду Равелін (2,14 т/га) одержано на фоні внесення мінеральних добрив із розрахунку N₉₀P₁₀₀K₉₀. Приріст урожайності насіння культури дорівнював 0,62 т/га або 40,8 % порівняно із варіантом без добрив. У досліді також ефективним було і внесення лише азотно-фосфорних добрив, які забезпечили істотне збільшення врожайності насіння соняшнику на 0,50–0,58 т/га або 32,9–38,2 % відносно контролю. Водночас різниця в урожайності між варіантами дослідження із різним рівнем азотно-фосфорного живлення знаходилася в межах НІР.

Середньостиглий гібрид Гусляр характеризувався більш вираженою позитивною реакцією на фон живлення. Найвищу врожайність насіння (2,27 т/га) одержано за внесення мінеральних добрив у дозі N₉₀P₁₀₀K₉₀. При цьому приріст урожайності відносно контролю становив 0,55 т/га або 32,0 %. Виявлено, що різні дози азотно-фосфорних мінеральних добрив також позитивно впливали на формування урожайності соняшнику, зокрема забезпечили збільшення урожайності на 0,35–0,46 т/га, або 20,3–26,7 % порівняно з варіантом без добрив.

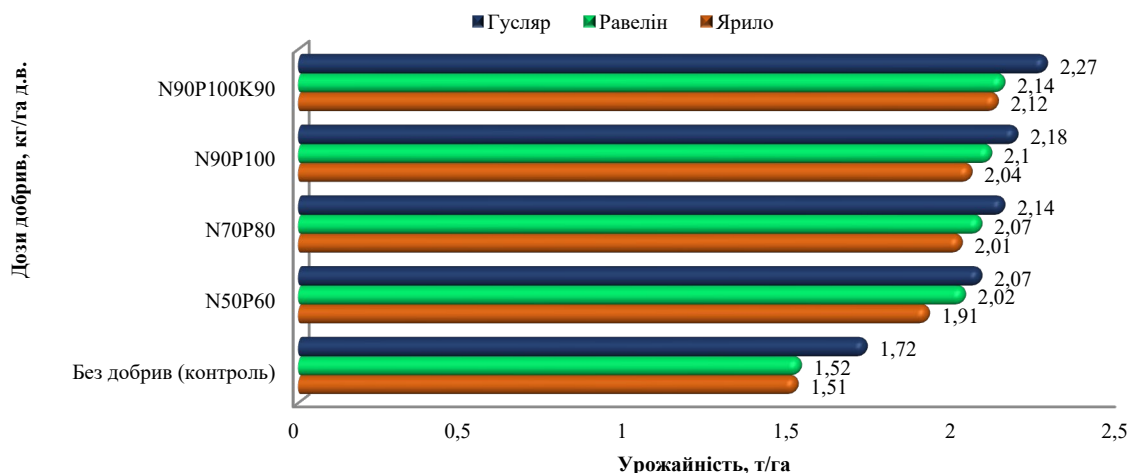


Рис. 1. Урожайність соняшнику залежно від рівня мінерального живлення, т/га (середнє за 2024–2025 рр.)

Примітки: НІР_{0,95}: чинник А (гібрид) – 0,07 т/га; чинник В (добрива) – 0,09 т/га; взаємодія чинників АВ – 0,21 т/га.

Отримані результати польового дослідження підтвердили ключове значення мінерального живлення у формуванні насіннєвої продуктивності соняшнику. Встановлено, що раціональна система удобрення є одним із найвагоміших чинників управління урожайністю, оскільки забезпечує рослини необхідними елементами живлення та сприяє реалізації їхнього біологічного потенціалу продуктивності. Порівняння варіантів удобрення показало чітку тенденцію до зростання врожайності у разі підвищення дози елементів мінерального живлення.

У цілому встановлено, що гібриди соняшнику, що вивчали у досліді, позитивно реагували на внесення мінеральних добрив, проте сила прояву цієї реакції залежить від біологічних особливостей гібриду та рівня мінерального забезпечення. Відзначено, що найбільш ефективними були варіанти удобрення, де вносили повний комплекс поживних речовин (NPK), хоча вплив додавання калію був мало вираженим. Отримані експериментальні дані узгоджуються з результатами інших дослідників, які наголошують, що важливою умовою формування високої продуктивності соняшнику є збалансоване мінеральне живлення культури впродовж періоду вегетації. Так, за даними Інституту сільського господарства Степу НААН виявлено, що рівень забезпеченості ґрунту поживними речовинами впродовж періоду вегетації слугує передумовою формування високих та сталих

врожайів посівів соняшника. Результати досліджень свідчать, що на фоні добрив максимальну врожайність насіння (3,85 т/га) забезпечив гібрид LG55.82 за першого строку сівби та густоти рослин 60 тис./га [11]. Дослідженнями проведеними в умовах Західного Полісся спостерігали формування найвищої врожайності гібридів соняшнику Годувальник – 3,22 т/га, Гусяр – 2,24, Інтеграл – 2,23 т/га за внесення мінеральних добрив у дозі $N_{90}P_{60}K_{120}$ та поєднання їх з позакореневим підживленням стимулятором росту Вимпел 2 (0,5 л/га) у фазах 3–4 і 5–6 листків культури. Максимальний вміст олії в насінні гібридів соняшнику (Годувальник – 55,2, Інтеграл – 54,5, Гусяр – 50,2 %) формувався на фоні внесення $N_{60}P_{30}K_{90}$ [9].

Вміст олії та інших пластичних речовин у насінні соняшника, може значно змінюватися за впливу різних технологічних чинників, зокрема і забезпеченості посівів поживними речовинами.

Результати проведених досліджень свідчать про безпосередній вплив рівня мінерального живлення на вміст олії в насінні гібридів соняшнику. Дослідженнями встановлено, що збільшення урожайності під дією добрив супроводжується зменшенням олійності насіння культури. Максимальне значення цього показника спостерігали під час вирощування гібридів на варіанті без внесення мінеральних добрив (рис. 2).

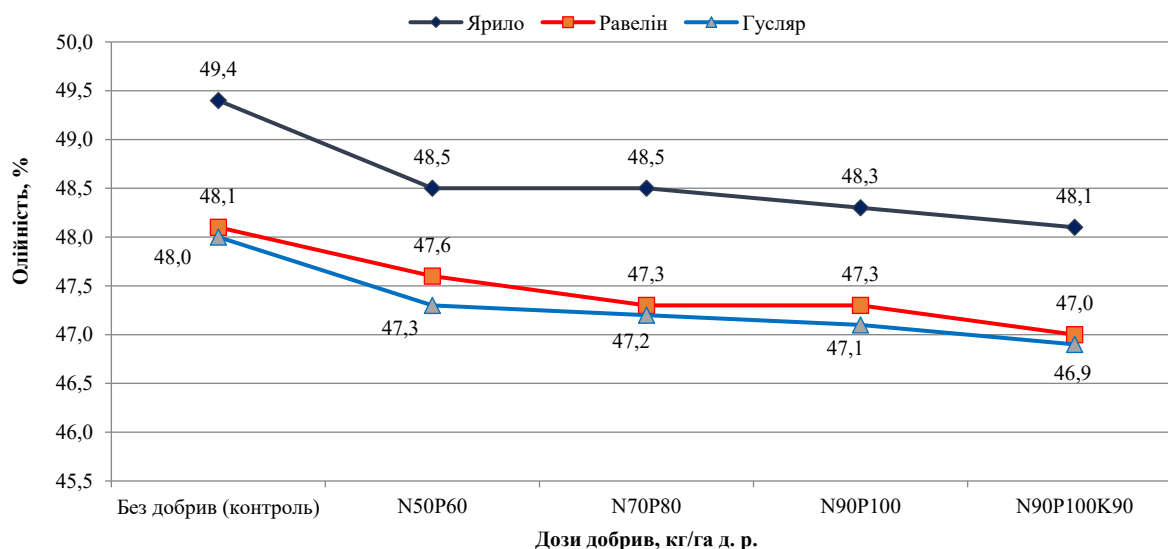


Рис. 2. Олійність соняшнику залежно від рівня мінерального живлення, % (середнє за 2024–2025 рр.)

Слід відзначити, що внесення навіть мінімальної дози добрив $N_{50}P_{60}$ зумовлювало зниження вмісту олії в насінні соняшнику, зокрема у гібриду Ярило – на 0,9 %, Равелін – на 0,5 %, Гусяр – на 0,7 % порівняно із контролем. Науковці пояснюють це явище тим, що використання азотних добрив в системі удобрення соняшнику сприяє активізації синтезу білків, але при цьому пригнічується пригнічуються процеси, які беруть участь в утворенні вуглеводів і жирів [13]. Подальше збільшення норми мінеральних добрив також супроводжувалося зменшенням вмісту олії в насінні гібридів соняшнику, однак різниця від значень відносно варіанту із найменшою дозою

добрив була мінімальною. Автори досліджень звертають увагу на те, що додавання до азотно-фосфорної тукосуміші ще й калійних добрив не забезпечило істотного збільшення вмісту олії, його значення були на рівні інших варіантів удобрення.

Висновки

За результатами польових досліджень підтверджено істотний позитивний вплив мінерального живлення на формування урожайності насіння соняшнику, зокрема внесення добрив забезпечило приріст урожайності на 20,3–40,8 % порівняно з

контролем, незалежно від групи стиглості гібридів. Установлено, що різні дози азотно-фосфорних добрив мали переважно близький за величиною вплив на врожайність насіння, а різниця між варіантами удобрення була незначною та часто перебувала в межах статистичної похибки. Виявлено, що підвищення рівня мінерального живлення, поряд зі зростанням урожайності, супроводжувалося зниженням вмісту олії в насінні соняшнику. Загалом, отримані експериментальні дані свідчать про необхідність оптимізації системи удобрення соняшнику з урахуванням балансу між підвищенням урожайності насіння та збереженням його високих якісних показників, зокрема олійності.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні більш широкого спектру доз мінеральних добрив, зокрема і розрахованих на винос запланованим урожаєм насіння соняшнику.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі III під час підготовки цього рукопису.

References

- Hanhur, V., Kosminskyi O., Len, O., & Totskyi, V. (2022). Effect of fertilizer on sunflower productivity and seed quality. *Scientific Progress & Innovations*, 2, 50–56. <https://doi.org/10.31210/visnyk2022.02.05>
- Hanhur, V. V. (2021). Influence of mineral fertilizers on the content of nutrients in the soil and the yield of sunflower hybrids of different maturity groups. *Scientific Progress & Innovations*, 1, 116–121. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.01.13>
- Hospodarenko, H. M. (2018). *Systema zastosuvannya dobryv* [System of fertilizer application]. SIK HRUP Ukraina [in Ukrainian]
- Domaratskyi, Ye. O., Dobrovolskyi, A. V., Bazalii, V. V., Pichura, V. I., & Domaratskyi, O. O. (2020). *Soniashnyk: ekolohichni shliakhy optymizatsii yoho zhyvlennia* [Sunflower: ecological ways to optimize its nutrition]. Oldi-plus [in Ukrainian]
- Yeremenko, O. A. (2017). Sunflower productivity depending on mineral nutrition and presowing seed treatment in the conditions of insufficient moisture. *Scientific Progress & Innovations*, 3, 25–30. <https://doi.org/10.31210/visnyk2017.03.04>
- Yeremenko, O. A., & Kalytka, V. V. (2017). Urozhainist soniashnyku zalezno vid ahrometeorolohichnykh umov Zaporizkoi oblasti [Sunflower yield depending on the agrometeorological conditions of the Zaporizhzhia region]. *Naukovo-Tekhnichni Biuleten Instytutu Oliynykh Kultur*, (24), 156–165 [in Ukrainian]

- Yeshchenko, V. O., Kopytko, P. H., Kostohryz, P. V., & Opryshko, V. P. (2014). *Osnovy naukovykh doslidzhen v ahronomii: Pidruchnyk* [Fundamentals of scientific research in agronomy: Textbook]. PP TD Edelveis i K [in Ukrainian]
- Lavryk, O. O., & Burlaka, V. A. (2016). *Zookhimichniy analiz kormiv. Khimichniy ta atomno-adsorbtsiyniy analiz kormiv: Navchalnyi praktykum* [Zoochemical analysis of feed. Chemical and atomic absorption analysis of feed: Educational workshop]. Zhytomyr National Agroecological University [in Ukrainian]
- Kurach, O., Lukaschuk, L., & Pershuta, V. (2023). Effect of doses of mineral fertilizers and growth stimulants on the productivity of sunflower hybrids. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 101 (8), 12–19. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202308-02>
- Mazur, V., Didur, I., Tsyhanskyi, V., & Malamaura, S. (2020). Formation of productivity of sunflower hybrids depending on the level of fertilization and humidity conditions. *Agriculture and Forestry*, 4, 208–220. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2020-4-17>
- Pinkovsky, G. V., Maschenko, Yu. V., & Tanchyk, S. P. (2019). Influence of elements of nutrition on the fertility of soil and productivity of sunflower in the Right-Bank Steppe of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 107, 145–150. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2019.107.19>
- Ryzhenko, A. S., Kalenska, S. M., Prysiashniuk, O. I., & Mokriienko, V. A. (2020). Yield plasticity of sunflower hybrids in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 16 (4), 402–406. <https://doi.org/10.21498/2518-1017.16.4.2020.224058>
- Skydan, V., & Skydan, M. (2016, June 10). *Vplyv pryposivnoho vnesennia dobryv ta pidzhyvlennia na soniashnyk* [Influence of pre-sowing fertilization and top dressing on sunflower]. Ahrobiznes. <https://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/662-vplyv-pryposivnoho-vnesennia-dobryv-ta-pidzhyvlennia-na-soniashnyk.html> [in Ukrainian]
- Totskyi, V., Hanhur, V., Onipko, V., Mishchenko, O., Kosminskyi O., Poliakov, I., & Motrych, R. (2023). Influence of the fertilizer system on the biometric, productive and quality indicators of sunflower hybrids in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 26 (3), 52–57. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.10>
- Totskyi, V., Hanhur, V., & Poliakov, I. (2024). Yield and quality of seed of sunflower hybrids (*Helianthus annuus* L.) depending on the fertilizer system. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (3), 5–11. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.03.01>
- Totskyi, V. M., & Poliakov, O. I. (2007). Formuvannya vrozhaïnosti ta vykhid olii v zalezhnosti vid ahropriimiv vyroshchuvannya soniashnyku v umovakh livoberezhnoho Lisostepu Ukrainy [Formation of yield and oil output depending on agricultural practices of sunflower cultivation in the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovo-Tekhnichni Biuleten Instytutu Oliynykh Kultur UAAN*, (12), 245–249. [in Ukrainian]
- Ahmad, M. I., Ali, A., He, L., Latif, A., Abbas, A., Ahmad, J., Ahmad, M. Z., Asghar, W., Bilal, M., & Mahmood, M. T. (2018). Nitrogen effects on sunflower growth: a review. *International Journal of Biosciences*, 12 (6), 91–101. <https://doi.org/10.12692/ijb/12.6.91-101>
- Alipatra, A., Banerjee, H., Bhattacharyya, K., Bandopadhyay, P., & Ray, K. (2019). Yield and quality of hybrid sunflower (*Helianthus annuus*) as affected by irrigation and fertilization. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 89 (9), 1419–1424. <https://doi.org/10.56093/ijas.v89i9.93480>
- Gomes, K. R., Viana, T. V. D. A., Sousa, G. G. d., Costa, F. R. B., & Azevedo, B. M. d. (2018). Irrigation and organic and mineral fertilization in sunflower crop. *Comunicata Scientiae*, 8 (2), 356–366. <https://doi.org/10.14295/cs.v8i2.1596>
- Hammad, H., Tahir, M. A., Sabah, N.-U., Sarwar, G., Aftab, M., Manzoor, M. Z., Riaz, A., Niaz, A., & Arif, M. (2021). Phosphorus utilization efficiency by sunflower (*Helianthus annuus* L.) from sparingly soluble P source under P deficient environment. *Pakistan Journal of Agricultural Research*, 34 (2), 294–299. <https://doi.org/10.17582/journal.pjar/2021/34.2.294.299>
- Milev, G. (2015). Effect of foliar fertilization on sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agricultural Science and Technology*, 7, 324–327.

22. Oyinlola, E. Y., Ogunwale, J. O., & Amapu, I. Y. (2010). Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) to nitrogen application in a savanna Alfisol. *Helia*, 33 (52), 115–125. <https://doi.org/10.2298/hel1052115o>
23. Watanabe, T., Okada, R., & Urayama, M. (2022). Differences in ionic responses to nutrient deficiencies among plant species under field conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 45 (10), 1493–1503. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2020837>

ORCID

V. Hanhur  <https://orcid.org/0000-0002-5619-492X>
I. Poliakov  <https://orcid.org/0009-0000-0025-8253>
M. Chernysh  <https://orcid.org/0009-0005-5010-1330>
V. Solianyk  <https://orcid.org/0009-0001-9877-2273>
A. Hospodynko  <https://orcid.org/0009-0008-5017-3555>



© 2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Monitoring the spread of root roots of spring barley in the Eastern part of the Forest Steppe of Ukraine

V. Turenko | Ye. Oleynikov✉

Article info

Correspondence Author

Ye. Oleynikov

E-mail:

evgeniy_oleynikov@ukr.net

State Biotechnological

University,

44 Alchevskih Str.,

Kharkiv, 61000,

Ukraine

Citation: Turenko, V., & Oleynikov, Ye. (2026). Monitoring the spread of root roots of spring barley in the Eastern part of the Forest Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 55–60. doi: 10.31210/spi2026.29.01.09

Barley is one of the main grain crops in Ukraine and is noted for one of the lowest production costs. However, the actual yield of barley still remains significantly lower than its potential. One of the main factors limiting the production of high gross grain yields and deteriorating its quality is the significant damage to the crop by fungal pathogens, primarily root rot. The monitoring of the phytosanitary condition of spring barley crops in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine in 2018–2025 showed that the dominant pathogen of root rot is the fungus *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (60 % of the total specific weight of pathogens), while fungi of the genus *Fusarium* account for 40 %. Intensive growth and abundant formation of conidia of *B. sorokiniana* was noted at air temperatures of +22+28 °C and soil moisture of 80 % of the full moisture capacity. The incubation period of the disease was 6–8 days. For fungi of the genus *Fusarium*, the optimal conditions for development were at air temperatures of +22+26 °C and soil humidity of more than 40 %. It was found that an increase in the average daily temperature by +2.4+4.5 °C and a decrease in precipitation to 60–74 % increased the intensity of root rot development: in the tillering phase from 5.5 to 17.9 %, in the earing phase from 14.5 to 44.4 %, in the waxy grain ripeness phase from 31.8 to 57.9 %. Screening of varieties for resistance to root rots showed that the highest prevalence of *B. sorokiniana* was found in the Agrariy variety (70 %), in the Allegro, Kozvan and Modern varieties from 50 to 67 %. The highest level of infection by fungi of the genus *Fusarium* was noted in the Allegro variety – up to 50 %. Determining the species composition of pathogens, biological features of their development in different varieties allows for effective monitoring of disease development and planning timely protective measures for spring barley crops. The creation and widespread introduction of resistant barley varieties into production is a particularly urgent task, since the yield when growing such varieties can be tens of times higher compared to the use of only chemical plant protection products. Therefore, for effective protection of spring barley from root rots, it is advisable to introduce resistant varieties into production. This will contribute to the preservation of the harvest, improvement of the phytosanitary condition of agroecosystems due to the reduction of the frequency and rates of pesticide use, as well as the reduction of environmental pollution.

Keywords: spring barley, varieties, prevalence, development, pathogens, root rots.

Моніторинг поширення кореневих гнилей ячменю ярого у східній частині Лісостепу України

В. П. Туренко | Є. С. Олейніков

Державний

біотехнологічний

університет,

м. Харків, Україна

Ячмінь належить до основних зернових культур України і відзначається однією з найнижчих собівартостей виробництва. Проте фактична врожайність ячменю все ще залишається значно нижчою за його потенційні можливості. Одним із основних чинників, що обмежує отримання високих валових зборів зерна та погіршує його якість, є значне ураження культури збудниками грибних хвороб, насамперед кореневими гнилями. Проведений моніторинг фітосанітарного стану посівів ячменю ярого в Східному Лісостепу України в 2018–2025 рр. показав, що домінуючим видом збудників кореневих гнилей був гриб *Bipolaris sorokiniana* Shoem. (60 % від загальної питомої ваги збудників), тоді як гриби роду *Fusarium* становили 40 %. Інтенсивний ріст і рясне утворення конідій *B. sorokiniana* було відмічено при температурі повітря +22+28 °C і вологості ґрунту 80 % від повної вологості. Інкубаційний період хвороби становив 6–8 діб. Встановлено, що підвищення середньодобової температури на +2,4+4,5 °C і зменшення кількості опадів до 60–74 % підвищували інтенсивність розвитку кореневих гнилей: у фазі кущення від 5,5 до 17,9 %, у фазі колосіння від 14,5 до 44,4 %, у фазі воскової стиглості зерна від 31,8 до 57,9 %. Скринінг сортів на стійкість до кореневих гнилей показав, що найбільше поширення *B. sorokiniana* встановлено у сорту Аграрій (70 %), у сортів Алегро, Козван і Модерн від 50 до 67 %. Вищий рівень ураження грибами роду *Fusarium* відзначено у сорту Алегро – до 50 %. Визначення видового складу збудників, біологічних особливостей їх розвитку на різних сортах дозволяє проводити ефективний моніторинг розвитку хвороб та планувати своєчасні захисні заходи в посівах ячменю ярого. Створення та широке впровадження у виробництво стійких сортів ячменю є особливо актуальним завданням, оскільки врожайність при вирощуванні таких сортів може бути в десятки разів вищою порівняно з використанням лише хімічних засобів захисту рослин. Отже, для ефективного захисту ячменю ярого від кореневих гнилей доцільно впроваджувати у виробництво стійкі сорти. Це сприятиме збереженню врожаю, покращенню фітосанітарного стану агроценозів завдяки зменшенню кратності та норм застосування пестицидів, а також зниженню рівня забруднення довкілля.

Ключові слова: ячмінь ярий, сорти, поширеність, розвиток, збудники, кореневі гнилі.

Бібліографічний опис для цитування: Туренко В. П., Олейніков Є. С. Моніторинг поширення кореневих гнилей ячменю ярого у східній частині Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 55–60.

Вступ

Ячмінь є однією з провідних зернофуражних культур. Потреба у зерні ячменю значно перевищує сучасні обсяги його виробництва. Підвищення врожайності культури стримується дією багатьох патогенних мікроорганізмів. Патогенний комплекс ячменю включає значну кількість збудників хвороб, але останніми роками особливо зросла шкідливість кореневих гнилей, у роки епіфітотій втрати врожаю від яких можуть досягати 5–12 % [2, 3].

Вивчення поширення цих захворювань, їхній тісний зв'язок із ґрунтовим середовищем та відсутність вузької спеціалізації щодо рослин-живителів зумовлюють постійну присутність грибів-збудників кореневих гнилей в агроценозах ячменю ярого і потребують постійного моніторингу та контролю, що свідчить про актуальність проведених досліджень [1, 4].

Проведення подальших досліджень у цьому напрямі в регіоні має важливе значення для отримання високих і стабільних урожаїв та обґрунтування ефективних заходів захисту ячменю ярого в умовах Східного Лісостепу України.

Мета дослідження

Метою проведених досліджень було встановлення біоекологічних особливостей розвитку кореневих гнилей ячменю ярого та обґрунтування ефективних заходів захисту культури в умовах східної частини Лісостепу України.

Матеріали і методи

Польові та лабораторні дослідження виконували упродовж 2020–2025 рр. Стаціонарні польові досліді закладали на базі ННВЦ «Дослідне поле Докучаєвське» та ДПДГ «Елітне» Харківського району Харківської області, які розташовані в агрокліматичних умовах східної частини Лісостепу України.

У процесі досліджень вивчали вплив сівозмінного чинника на продуктивність ячменю ярого, застосування органічних та органо-мінеральних добрив, різних способів основного обробітку ґрунту (полицевого і безполицевого), а також передпосівного протруювання насіння [21].

Протруювання насіннєвого матеріалу здійснювали водною суспензією препаратів за 1–5 діб до проведення сівби. До варіантів досліді були включені нові системні та комбіновані фунгіцидні препарати, дозволені до використання згідно з «Переліком пестицидів і агрохімікатів, дозволених до застосування в Україні» (2025 р.) [17].

Фітопатологічну експертизу насіннєвого матеріалу ячменю ярого сорту Парнас, вирощеного в різних районах Харківської області, проводили в лабораторії рослинництва і сортовивчення Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН.

Енергію проростання та лабораторну схожість насіння визначали відповідно до вимог ДСТУ 4138–2002 (2003).

У польових умовах звичайну кореневу гниль визначали за характерними симптомами, що проявлялися на первинних і вторинних коренях, підземному міжвузлі та основі стебла у вигляді побуріння тканин. Подальшу діагностику проводили в лабораторних умовах шляхом візуального аналізу після ретельного промивання кореневої системи, звертаючи увагу на комплекс діагностичних ознак, характерних для збудника *Bipolaris sorokiniana* [20].

Для встановлення фузаріозної та гелмінто-споріозно-фузаріозної кореневих гнилей проводили камеральні дослідження з подальшим мікроскопічним аналізом спороношення патогенів. Конідії поміщали у вологу камеру за температури повітря +16...+20 °С. Через 48 годин на уражених органах з'являлися рожеві подушечки або суцільний рожевий наліт конідиального спороношення, що є характерною діагностичною ознакою грибів роду *Fusarium* [1, 4].

Результати та їх обговорення

Проведені експериментальні дослідження засвідчили, що в структурі патологічного комплексу ячменю ярого переважали три типи кореневих гнилей: звичайна (гельмінтоспоріозна), фузаріозна та гелмінтоспоріозно-фузаріозна. Інші різновиди, зокрема церкоспорельозна, фузаріозно-церкоспорельозна, ризоктоніозна та офіобольозна кореневі гнилі, у досліджуваних посівах не виявлялися. Поширеність звичайної кореневої гнилі становила 22,1–30,4 %, тоді як інтенсивність розвитку захворювання коливалася в межах 9,8–12,3 %. Встановлено, що основним збудником кореневої гнилі ячменю є гриб *Bipolaris sorokiniana*, частота паразитування якого досягала 65–68 %. Значно рідше ураження посівів спричиняли гриби роду *Fusarium* spp. – у межах 27–32 %. У посівах ячменю ярого в усіх зонах вирощування переважали звичайна та гелмінто-споріозно-фузаріозна кореневі гнилі. Найбільш інтенсивний розвиток звичайної кореневої гнилі спостерігався у посушливі роки.

На коренях і листках проростків ячменю з'являлися поздовжні темні смуги та видовжені бурі плями. Відмічали побуріння і загнивання колеоптіля, а також пожовтіння та пліснявіння листків. У фазі куціння формувалися дрібні темні плями, які з часом збільшувалися і досягали довжини до 1,4 см; їх центральна частина мала темно-буре або темно-сіре забарвлення, тоді як краї залишалися світлішими. На уражених тканинах рослин у вологу погоду з'являвся оксамитовий чорний або оливково-бурий наліт конідиального спороношення патогена. За сильного розвитку хвороби основа стебла чорніла і загинувала до рівня нижнього вузла. У таких рослин також спостерігалася потемніння півх листків [8].

На первинних і вторинних коренях, а також на підземному міжвузлі формувалися видовжені темно-коричневі виразки, які часто зливалися між собою, внаслідок чого уражена тканина набувала майже чорного забарвлення (рис. 1).



Рис. 1. Симптоми прояву корневих гнилей на ячмені ярому (ННВЦ «Докучаєвське», 2021 р.).

У фазі наливу зерна в уражених рослин формувалися недорозвинені колоски, які часто були стерильними. Колоскові лусочки набували білого забарвлення з чорними плямами, а їх остюки ставали темно-бурими; нерідко спостерігалось також побіління стебел. Іноді в колосі все ж утворювалося зерно, проте воно було щуплим і часто мало чорний зародок. Окрім ячменю, збудник може уражувати пшеницю, жито, кукурудзу, просо та дикорослі злаки – загалом близько 90 видів рослин із 30 родів [15]. Патоген характеризується значною кількістю штамів, що відрізняються за рівнем патогенності щодо різних видів і генетичних груп ячменю. Він добре пристосований до паразитування в умовах теплої та сухої погоди, за підвищеної сонячної радіації та на ґрунтах із реакцією, близькою до нейтральної [6].

У період вегетації рослин збудник поширювався за допомогою конідій, а розповсюдженню інфекції в агроценозі сприяли вітряна й дощова погода. Для інфікування рослин необхідним є зволоження їх поверхні протягом не менше 14–16 годин. За середньодобової температури повітря понад $+20^{\circ}\text{C}$ інкубаційний період розвитку хвороби становив 6–8 діб. Оптимальною для розвитку патогена є температура в межах $+22\text{--}28^{\circ}\text{C}$. Поширенню та інтенсивнішому розвитку захворювання сприяли м'які зими, чергування спочатку сухої, а потім вологої погоди, порушення сівозміни, а також пошкодження посівів низькими температурами [16].

Основним джерелом інфекції є рослинні рештки, у яких патоген зберігається у вигляді конідій, сумко-спор, а також грибниці в ураженому насінні. Інфекція здатна зберігатися у ґрунті понад один рік [5].

Шкідливість хвороби проявлялася в порушенні фізіолого-біохімічних процесів у хворих рослинах, пригніченні росту та послабленні мінерального живлення, що в підсумку призводило до зниження їх продуктивності й погіршення якості зерна. Втрати врожаю зерна від звичайної кореневої гнилі становили 2–5 %. У посушливі роки шкодочинність захворювання суттєво зростала [12, 14].

Останніми роками шкодочинність корневих гнилей значно підвищилася і становила від 40 до 70 %. У сівозмінах із насиченням зерновими культурами на рівні 75 % негативна роль корневих гнилей посилювалася, а втрати врожаю від звичайної кореневої гнилі становили 8–11 %. У посушливі роки ці показники були вищими [23].

У середньому шкоду від захворювання оцінювали на рівні 1,1–1,6 % після перевищення економічного порогу шкідливості. За розвитку хвороби на рівні 15 % маса 1000 насінин у середньому зменшувалася на 32–35 %, а недобір урожаю становив 12–15 %. За інтенсивності розвитку хвороби близько 40 % було відмічено зниження схожості насіння [18].

Зовнішні прояви фузаріозної кореневої гнилі значною мірою подібні до симптомів звичайної кореневої гнилі [9]. На колеоптилі, первинних і вторинних коренях, підземному міжвузлі та в основі стебла з'являються некротичні смуги і плями, які, розростаючись, спричиняють загальне побуріння ураженої тканини. За інтенсивного розвитку хвороби проростки можуть відмирати ще в ґрунті, не досягнувши його поверхні. На рослинах у фазі повної стиглості на коренях і підземному міжвузлі виявлялися видовжені коричневаті плями без чітко вираженої центральної частини (рис. 2).

На поверхні таких плям іноді формувалися помаранчеві або рожеві подушечки конідіального спороношення патогена. Уражені рослини характеризувалися побілінням стебел, часто з наявністю рожевого розмитого малюнка на півхах листків і міжвузлях. За сухої погоди інфіковані колоски або окремі частини колоса набували білого забарвлення, тоді як здорова тканина колоскових лусок залишалася зеленою [19].

Залежно від виду патогени формують макрота мікроконідії, а також хламідіоспори. Більшість збудників хвороби, окрім конідіального спороношення, у циклі свого розвитку утворюють одноклітинні або жовто-бурі хламідіоспори, а також темно-коричневі чи темно-сині мікросклеротії [13]. Упродовж вегетаційного періоду поширення патогенів відбувається за допомогою конідій. Інфікування рослин спостерігається за температури повітря $+15\text{--}22^{\circ}\text{C}$ та вологості ґрунту понад 40 % [7]. Найбільш інтенсивне ураження кореневої системи відмічається за умов надмірної вологості ґрунту або значних її коливань [22].

Основним джерелом інфекції є ґрунт, у якому збудники зберігаються на уражених рослинних рештках

у вигляді грибниці, хламідіоспор та мікросклероціїв. Додатковим джерелом поширення інфекції виступає заражене насіння [10].



Рис. 2. Симптоми прояву корневих гнилей на ячмені ярого (ДП ДГ «Елітне», 2022)

Таблиця 1

Динаміка ураженості ячменю ярого сорту Парнас звичайною кореневою гниллю в ДП ДГ «Елітне» Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН (2020–2022 рр.)

Фази розвитку ячменю ярого	Звичайна коренева гниль					
	2020		2021		2022	
	поширеність хвороби, %	розвиток хвороби, %	поширеність хвороби, %	розвиток хвороби, %	поширеність хвороби, %	розвиток хвороби, %
Кущення	22,1	10,3	21,7	9,8	22,3	10,5
Колосіння-цвітіння	27,2	11,4	26,5	11,1	26,8	11,3
Воскова стиглість	30,4	12,3	29,5	11,8	29,9	12,1

Аналізуючи дані **таблиці 1**, встановлено, що ячмінь ярий уражався збудниками корневих гнилей упродовж всього вегетаційного періоду – від фази кущення до фази воскової стиглості зерна. Середній рівень розвитку хвороби коливався від 9,8 до 12,3 % при поширеності 22,1–30,4 %.

У фазі кущення рослини уражалися збудником кореневої гнилі, при цьому середня поширеність становила 21,7–22,2 %, а розвиток хвороби – 9,8–10,3 %.

Таблиця 2

Динаміка ураженості рослин ячменю ярого корневими гнилями залежно від фази розвитку в ННВЦ «Дослідне поле «Докучаєвське» (2018–2022 рр.)

Сорт	Поширеність хвороби, %			Розвиток хвороби, %			Середньозважений бал ураження		
	кущіння	колосіння	воскова стиглість зерна	кущіння	колосіння	воскова стиглість зерна	кущіння	колосіння	воскова стиглість зерна
Модерн	20,6	24,5	49,7	6,1	13,3	30,1	0,24	0,53	1,20
Аграрій	23,2	26,8	54,2	6,6	16,4	36,4	0,26	0,66	1,46
Козван	15,9	27,6	50,7	4,8	15,7	33,8	0,19	0,63	1,35
Алегро	13,8	21,6	41,5	4,3	12,5	26,8	0,17	0,50	1,07
Середнє	18,4	25,1	49,0	5,5	14,5	31,8	0,22	0,58	1,27

Найбільшої шкодочинності фузаріозна коренева гниль завдає у фазі проростків, сповільнюючи їх ріст і розвиток. Упродовж вегетації захворювання спричиняє зріджування посівів та відмирання продуктивних стебел. Частина уражених рослин формує недорозвинені колоски зі щуплим зерном, іноді спостерігається пустоколосість [11, 17].

У результаті досліджень встановлено, що звичайна коренева гниль була домінуючим типом захворювання, частка якого серед усіх уражених рослин становила 68 %. У меншій мірі посіви уражувалися грибами роду *Fusarium* spp. – до 27 %. Комплекс гелмінтоспоріозно-фузаріозної гнилі мав незначне поширення і становив близько 5 % від загальної кількості уражень.

Результати проведених досліджень показали, що максимум розвитку звичайної кореневої гнилі спостерігався у третій декаді липня за середньодобової температури повітря +23 °С, відносної вологості повітря 77 % та кількості опадів за декаду 25 мм. За цих умов поширеність хвороби становила 29,5 %, а її розвиток – 11,8 %.

Шкідливість корневих гнилей поступово зростала від фази сходів до періоду збирання врожаю культури. Це зумовлено значним інфекційним навантаженням у ґрунті та сприятливими умовами для розвитку і поширення хвороби, що сформувалися протягом вегетаційного періоду (**табл. 1**).

У фазі колосіння-цвітіння зберігалася тенденція до подальшого розвитку звичайної кореневої гнилі: інтенсивність становила 11,1–11,4 % при поширеності 26,5–27,2 %.

У фазі воскової стиглості зерна інтенсивність розвитку хвороби збільшилася до 11,8–12,3 %, а поширеність досягла 29,5–30,4 % (**табл. 2**).

Таким чином, максимальна поширеність і розвиток звичайної кореневої гнилі спостерігалися у фазі воскової стиглості зерна. При цьому було відзначено зниження співвідношення вуглеводів і білків у зерні, що негативно впливало на його урожайність та якість.

Дані **таблиці 2** показали, що розвиток кореневих гнилей у фазі кушення коливався від 4,3 до 6,6 % при поширеності 13,8–23,2 %, а середній зважений бал ураження становив 0,17–0,26%. Найнижчі показники відзначені у сорті Алегро – 4,3 % при середньому розвитку 5,5 %.

У фазі колосіння розвиток хвороби виріс до 12,5–16,4 % при поширеності 21,6–27,6 % з середнім балом ураження 0,50–0,66. Найнижчі показники за цієї фази спостерігалися на сорті Алегро – 12,5 % при середньому 14,5 %.

У фазі воскової стиглості зерна відмічено максимальний розвиток захворювання: інтенсивність становила 26,8–36,4 %, поширеність – 41,5–54,2 %, середньозважений бал ураження зріс до 1,46. Розвиток хвороби на різних сортах був близьким до середнього показника – 31,8 %.

Найбільше поширення збудника *B. sorokiniana* спостерігалось на сорті Аграрій – 70 % від загальної питомої ваги збудників кореневих гнилей. Сорти Алегро, Козван і Модерн мали поширення збудника від 50 до 67 %. Найбільший показник грибів роду *Fusarium* встановлено у сорті Алегро – до 50 %.

За шкалою оцінки стійкості зразків ячменю ярого до звичайної кореневої гнилі, сорти Модерн, Аграрій, Козван, Алегро були оцінені на 6 балів і класифіковані як стійкі.

Таким чином, для зменшення шкодочинності патогенів у комплексі кореневих гнилей рекомендуємо впроваджувати стійкі сорти, що сприятимуть збереженню врожаю та поліпшенню фітосанітарного стану агроценозів.

Висновки

Проведений моніторинг фітосанітарного стану посівів ячменю ярого в Східному Лісостепу України в 2018–2025 рр. показав, що домінуючим видом збудників кореневих гнилей був гриб *Bipolaris sorokiniana* Shoem. – 60 % від загальної питомої ваги збудників, тоді як гриби роду *Fusarium* становили 40 %.

Доведено, що інтенсивний ріст і рясне утворення конідій *B. sorokiniana* спостерігалися при температурі повітря +22+28 °C і вологості ґрунту 80 % від повної вологоємності. Інкубаційний період хвороби становив 6–8 діб. Для грибів роду *Fusarium* оптимальні умови розвитку за температури повітря +22+26 °C та вологості ґрунту понад 40 %. Встановлено, що підвищення середньодобової температури на +2,4+4,5 °C і зменшення кількості опадів до 60–74 % сприяли інтенсивному розвитку кореневих гнилей: у фазі кушення від 5,5 до 17,9 %, у фазі колосіння від 14,5 до 44,4 %, у фазі воскової стиглості зерна від 31,8 до 57,9 %. Скринінг стійкості сортів до кореневих гнилей показав, що найбільше поширення *B. sorokiniana* було відмічено у сорті Аграрій (70 %), а у сортів Алегро, Козван і Модерн 50–67 %.

Найвищий ступінь ураження грибами роду *Fusarium* відмічено у сорту Алегро – до 50 %.

Визначення видового складу збудників, біологічних особливостей їх розвитку на різних сортах дозволяє проводити ефективний моніторинг розвитку хвороб та планувати своєчасні захисні заходи в посівах ячменю ярого.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Andreychenko, L. V., & Lavrishina, O. Ye. (2020). Alternative varieties of winter barley for growing in conditions of South of Mykolaiv region. *The Scientific Journal Grain Crops*, 3 (2), 286–292. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0088>
2. Batova, O. M. (2018). Vplyv strokiv sivy na rozvytok korenyv hnylei psheynytsi ozymoi v umovakh Kharkivskoi oblasti [The influence of sowing dates on the development of root rots of winter wheat in the conditions of the Kharkiv region]. *Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho Aharnoho Universytetu. Seriya «Fitopatolohiia ta Entomolohiia»*, (1-2), 7–10. [in Ukrainian]
3. Batova, O. M. (2019). Poshyrennia ta shkidlyvist korenyv hnylei psheynytsi ozymoi v Ukraini [The prevalence and harmfulness of root rots of winter wheat in Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho Aharnoho Universytetu. Seriya «Fitopatolohiia ta Entomolohiia»*, (1-2), 7–12. [in Ukrainian]
4. Bilovus, G. (2022). Evaluation of winter barley varieties for yield productivity and resistance against infecting agents of leaf diseases. *Visnyk Ahrarnoi Nauky*, 100 (3), 20–27. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202203-03>
5. Borzykh, A. I., & Fedorenko, V. P. (2016). Modern problems of phytosanitary condition agrobiocenoses in Ukraine. *Interdepartmental Thematic Scientific Collection of Plant Protection and Quarantine*, 62, 3–17. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2016.62.3-17>
6. Hudzenko, V. M. (2018). Yield and stability of Myronivka winter barley varieties. *Plant Breeding and Seed Production*, 113, 55–77. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134358>
7. Hudzenko, V. M., & Vasylyukivskyi, S. P. (2017). Vyvedennia sortiv yachmeniu ozymoho, adaptovanykh do suchasnykh umov Lisostepu Ukrainy [Breeding winter barley varieties adapted to modern conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Zbirnyk Naukovykh Prats Umanskoho Natsionalnoho Universytetu Sadivnytstva*, 90 (1), 63–70. [in Ukrainian]
8. Hudzenko, V. M., & Vasylyukivskyi, S. P. (2016). Osnovni napriamy ta zadannia seleksii yachmeniu ozymoho u Tsentralnomu Lisostepu Ukrainy [The main directions and tasks of winter barley breeding in the Central Forest-Steppe of Ukraine]. *Novitni ahrotekhnolohii*, 1, 4. <http://plant.gov.ua/uk/2016-1-2> [in Ukrainian]

9. Demydov, O., Vasylykiv's'kyj, S., & Gudzenko, V. (2016). Level of manifestation and connection between productivity of height of plants and resistance to lodging of winter barley in Forest-steppe. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 94 (10), 30–34. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201610-06>
10. Demydov, O. A., Hudzenko, V. M., & Vasylykiv's'kyi, S. P. (2016). Impact of weather conditions during the growing season on winter barley yield in the Forest-Steppe zone of Ukraine. *Plant Varieties Studying and Protection*, 4 (33), 39–44. [https://doi.org/10.21498/2518-1017.4\(33\).2016.88670](https://doi.org/10.21498/2518-1017.4(33).2016.88670)
11. Demydov, O. A., Hudzenko, V. M., & Khomenko, L. O. (2016). Optymizatsiia pidkhodiv do otsiniuvannia morozostiikosti selektsiinoho materialu yachmeniu ozymoho [Optimization of approaches to assessing frost resistance of winter barley breeding material]. *Myronivskyi Visnyk*, 2, 56–68. [in Ukrainian]
12. Zaiarna, O. Yu. (2017). Otsinka stiikosti sortiv yachmeniu yarooho do sazhkovykh khvorob [Assessment of the resistance of spring barley varieties to smut diseases]. *Visnyk Kharkivskoho Natsionalnoho Ahrarnoho Universytetu. Seriia «Fitopatolohiia ta Entomolohiia»*, 1-2, 165–168. [in Ukrainian]
13. Zaets, S. O., Balian, I. V., Onufrun, L. I., & Yuziuk, S. M. (2023). Urozhainist riznykh sortiv yachmeniu ozymoho v umovakh Pivdennoho Stepu [Yield of different varieties of winter barley in the conditions of the Southern Steppe]. *Ahrarni Innovatsii*, 19, 51–56. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.8>
14. Kuzmenko, N., Litvinov, A., & Oleynikov, Ye. (2017). Chemical protection of winter bread wheat against root rots and Septoria infection. *Annual Wheat Newsletter*, 63, 65–68.
15. Linchev's'kyj, A. (2017). Barley as a source of able-bodied life of contemporary person. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 95 (12), 14–21. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201712-03>
16. Linchev's'kyj, A., & Legkun, I. (2020). A new attitude to barley culture and selection in the conditions of climate change. *Visnyk Agrarnoi Nauky*, 98 (9), 34–42. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202009-05>
17. Perelik pestytsydiv i ahrokhimikativ, dozvolenykh do vykorystannia v Ukraini [List of pesticides and agrochemicals permitted for use in Ukraine]. (2025). Yunivest Media [in Ukrainian]
18. Markov, I. L., Bashta, O. V., Hentosh, D. T., Dermenko, O. P., & Pikovskiy, M. Y. (2017). *Silskohospodarska fitopatolohiia: pidruchnyk* [Agricultural phytopathology: textbook]. Interservice [in Ukrainian]
19. Oleinikov, Ye. S. (2016). Zalezhnist proiavu osnovnykh pliamystostei lystia pshenytsi ozymoi vid umov vehehatsii roslin [Dependence of the manifestation of the main leaf spots of winter wheat on the conditions of plant vegetation]. *Visnyk Tsentru Naukovoho Zabezpechennia APV Kharkivskoi Oblasti*, 21, 73–78. [in Ukrainian]
20. Rakoid, O. O., & Kudriavitska, A. M. (2019). *Okhorona pratsi v zakhysti ta karantyni roslin: navchalnyi posibnyk dlia studentiv zi spetsialnosti 202 «Zakhyst i karantyn roslin»* [Occupational safety in plant protection and quarantine: textbook for students majoring in 202 Plant Protection and Quarantine]. NUBiP Ukrainy [in Ukrainian]
21. Stankevych, S. V., Zabrodina, I. V., Vasylieva, Yu. V., Turenko, V. P., Kulieshov, A. V., & Bilyk, M. O. (2020). *Monitorynh shkidnykh i khvorob silskohospodarskykh kultur: navchalnyi posibnyk* [Monitoring of pests and diseases of agricultural crops: a manual]. FOP Brovin O. V. [in Ukrainian]
22. Turenko, V. P., Bilyk, M. O., & Martynenko, V. I. (2020). *Ahrofarmakolohiia: pidruchnyk* [Agropharmacology: textbook]. Maidan [in Ukrainian]
23. Turenko, V. P., Zhukova, L. V., Horiainova, V. V., & Panchenko, V. S. (2020). Pliamystosti ozymoi pshenytsi ta udoskonalennia systemy zakhystu vid nykh [Spots of winter wheat and improvement of the system of protection against them]. *Materialy V Vseukrainskoi konferentsii molodykh uchenykh «Suchasni problemy pryrodnychyykh nauk»* (pp. 8–9). Nauka-Servis [in Ukrainian]

ORCID

V. Turenko  <https://orcid.org/0000-0002-7432-6965>
 Ye. Oleynikov  <https://orcid.org/0000-0001-7702-7875>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Assessment of experimental sunflower hybrids for resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.)

V. Bilyk | D. Chuiko✉

Article info

Correspondence Author

D. Chuiko

E-mail:

chuiko93ua@gmail.comState Biotechnological
University,
44 Alchevskih Str.,
Kharkiv, 61000,
Ukraine

Citation: Bilyk, V., & Chuiko, D. (2026). Assessment of experimental sunflower hybrids for resistance to broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 61–67. doi: 10.31210/spi2026.29.01.10

Sunflower is a strategic oilseed crop whose productivity is significantly constrained by infestation with sunflower broomrape (*Orobanche cumana*), a parasitic plant characterized by the continuous emergence of new virulent races. The aim of the study was to conduct a comprehensive evaluation of newly developed experimental sunflower hybrids for resistance to broomrape under both laboratory and field conditions and to identify the most valuable combinations for further breeding programs. During 2023–2025, laboratory screening was performed under an artificial infection background using a mixture of broomrape seeds collected from different regions of Ukraine, followed by field assessment under natural infestation conditions. The experiment included 68 experimental hybrids obtained through diallel crosses between four maternal lines and 20 fertility restorer lines. Resistance was evaluated based on the percentage of infected plants, the number of tubercles or parasite shoots per plant, and an integrated resistance scoring scale; statistical analysis was performed using correlation and regression methods. A pronounced differentiation among hybrids in terms of resistance level was established, along with a decisive influence of the maternal component's genetic background. The highest and most stable resistance in both laboratory and field trials was demonstrated by hybrids involving the A25 line; several combinations showed complete absence of infection over two consecutive years (0 %, score 9), indicating effectiveness against at least six broomrape races (A–F) and likely race G. In contrast, most hybrids derived from A620-16, OD-DI-65-SU, and HA-26-IMI-PR exhibited high or moderate susceptibility, although certain combinations displayed moderate tolerance, supporting the feasibility of targeted selection within these groups. A statistically significant moderate positive correlation was found between laboratory and field infection parameters ($r = 0.683$; $p < 0.001$), with 46.7 % of the variation in field resistance explained by laboratory results, confirming the predictive value of early-stage laboratory screening. The findings enabled the identification of hybrids with high breeding value recommended for advanced competitive trials and for use in breeding programs aimed at developing competitive heterotic forms with an expanded spectrum of resistance to aggressive broomrape races.

Keywords: sunflower, hybrid, breeding, resistance, *Orobanche cumana*.

Оцінка експериментальних гібридів соняшника за стійкістю до вовчка (*Orobanche cumana* Wallr.)

В. В. Білик | Д. В. Чуйко

Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна

Соняшник є стратегічною олійною культурою, продуктивність якої суттєво обмежується ураженням вовчком соняшниковим (*Orobanche cumana*), расовий склад якого постійно модифікує. Метою дослідження була комплексна оцінка нових експериментальних гібридів за рівнем стійкості до вовчка в лабораторних та польових умовах і виділення найбільш цінних комбінацій для подальшої селекційної роботи. Упродовж 2023–2025 рр. проведено лабораторне тестування на штучному інфекційному фоні з використанням суміші насіння вовчка з різних регіонів України та польову оцінку в умовах природного зараження. Для експерименту було залучено 68 експериментальних гібридів, отриманих у результаті діалельних схрещувань чотирьох материнських ліній із 20 лініями-відновниками фертильності пилку. Облік ураження здійснювали за відсотком інфікованих рослин, кількістю бульбочок або стебел паразита та інтегральною бальною шкалою стійкості; статистичну обробку виконано із застосуванням кореляційно-регресійного аналізу. Встановлено істотну диференціацію гібридів за рівнем резистентності та визначальну роль генетичної природи материнського компонента. Найвищу стабільну стійкість у лабораторних і польових умовах продемонстрували комбінації за участю лінії А25, окремі з яких упродовж двох років не мали уражених рослин (0 %, 9 балів), що свідчить про їх ефективність проти щонайменше шести рас вовчка (А–F) і ймовірно G. Натомість більшість гібридів за участю ліній А620-16, OD-DI-65-SU та HA-26-IMI-PR характеризувалися високою або середньою сприйнятливістю, хоча окремі комбінації виявили помірну толерантність, що підтверджує доцільність подальшого індивідуального добору. Між лабораторними та польовими показниками ураження встановлено достовірний помірний позитивний зв'язок ($r = 0.683$; $p < 0.001$), при цьому 46,7 % варіації польової резистентності пояснюється результатами лабораторного тестування, що підтверджує його прогностичну цінність на ранніх етапах селекції. Отримані результати дозволили виділити групу гібридів із високою селекційною цінністю, які рекомендовано для подальшого конкурсного випробування та використання у програмах створення конкурентоспроможних гетерозисних форм із розширеним спектром стійкості до агресивних рас паразита.

Ключові слова: соняшник, гібрид, селекція, стійкість, *Orobanche cumana*.



Бібліографічний опис для цитування: Білик В. В., Чуйко Д. В. Оцінка експериментальних гібридів соняшника за стійкістю до вовчка (*Orobanche cumana* Wallr.). *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 61–67.

Вступ

Соняшник (*Helianthus annuus* L.) – є однією з ключових олійних культур, що має високу господарську цінність та будучи високо рентабельною культурою забезпечує грошові надходження і ліквідність господарству, а також є ключовою ланкою економіки України. Разом з цим ефективність вирощування соняшника є складним технологічним процесом, а його урожайність першу чергу залежить від правильно підбраного гібриду [1–4].

Широкий генетичний поліморфізм роду *Helianthus* дає селекціонерам можливість створення високопродуктивних, стійких до біотичних та абіотичних факторів гібридів соняшника [5]. Саме стійкість нових гібридів соняшника до найбільш поширених захворювань є одним із ключових елементів його ефективності вирощування у виробництві. Серед одних із найбільш шкідливих організмів для соняшника є паразитична рослина – вовчок соняшниковий (*Orobanche cumana* Wallr.), який за останні 100 років розширив свою расову різноманітність з рас А–D, до найбільш агресивних рас F, G та H, які можуть знищити майже повністю посіви соняшника. Таким чином, офіційно визнаними на сьогодні є вісім рас вовчка соняшникового та певні згадки у дослідженнях про появу нової дев'ятої раси – I [6–8].

Поява нових рас вовчка є стимулятором постійного розвитку селекції за цим напрямком. Сьогодні уже розширено знання про генетичні особливості стійкості соняшника до вовчка, які обумовлюються вертикальною або горизонтальною стійкістю рослин. Генетична стійкість до перших п'яти рас вовчка (А–Е) контролюється домінантними генами *Or1-Or5*. У той час, як генетична стійкість до агресивних рас вовчка є наслідком взаємодії домінантних та рецесивних генів [9, 10].

Згідно різних досліджень було встановлено, що стійкість у гетерозисних гібридів є кращою ніж у інбредних ліній соняшника, внаслідок більш широкої генетичної основи у гібридів [11–16]. На початок 2026 року у Державному реєстрі сортів рослин, придатних до поширення на території України зареєстровано 669 гетерозисних гібридів соняшника (у тому числі 6 сортів), які представлені досить широким генетичним та еколого-географічним різноманіттям [17].

Мета дослідження

Метою нашого дослідження було здійснити комплексну лабораторну та польову оцінку нових експериментальних гібридів соняшника за рівнем стійкості до вовчка (*Orobanche cumana*), встановити зв'язок між показниками штучного та природного інфекційного фону й виділити найбільш цінні гібридні комбінації для подальшого використання у селекційних програмах.

Матеріали і методи

Упродовж 2023–2025 рр. проведено комплексні польові та лабораторні дослідження, спрямовані на оцінку стійкості нових експериментальних гібридів

соняшника до вовчка. Експериментальну частину виконано на базі кафедри генетики, селекції та насінництва Державного біотехнологічного університету. Польові досліди закладали на стаціонарному полі № 2 (49.903806, 36.446012) із дотриманням загальноприйнятих методичних підходів.

Лабораторну оцінку стійкості досліджуваних генотипів здійснювали в умовах регульованого штучного клімату в дослідній лабораторії ТОВ «Нертус Агро», що забезпечувало стандартизацію факторів середовища та підвищення відтворюваності отриманих результатів.

Лабораторну оцінку стійкості експериментальних гібридів соняшника до вовчка (*O. cumana* Wallr.) проводили згідно з методикою, розробленою в ІР ім. В.Я. Юр'єва НААН [18]. Як субстрат використовували суміш торфу та піску. Інфекційне навантаження становило 2 г насіння вовчка на кожні 5 кг субстрату. Використовували суміш насіння вовчка з трьох різних географічних точок України (Одеська, Миколаївська та Харківська обл.). Температурні умови вирощування знаходилися у межах +24–28 °C та при відносній вологості повітря у межах 70 %. У якості освітлення були використані світлодіодні лампи повного спектра. Кожен зразок закладали у трьохкратній повторності. Оцінку ступеня ураження коріння рослин бульбочками проводили на 28-й день від початку сходів, коли на кожній рослині підраховували кількість бульбочок, що прикріпилися до коріння.

Польову оцінку ураженості посівів вовчком соняшниковим проводили в умовах природного фону шляхом ручного підрахунку стебел квітконосів (*O. cumana* Wallr.) у посівах кожного експериментального гібриду та підрахунку кількості уражених рослин. У якості гібридів стандартів були використані два гібриди П64ЛП130 та Альдазор з генетичною стійкістю до 7 рас та два гібриди СИ Бакарді КЛП і Си Діамантіс зі стійкістю до 5 рас вовчка (А–Е) (рис. 1). Бал стійкості присвоювався за дев'ятибальною шкалою, де 9 – найвищий бал (0 % уражених рослин), а бал 1 – повна відсутність стійкості (уражено 100 % рослин).



Рис. 1. Ураження вовчком гібриду стандарту Си Діамантіс (зліва) та прояв стійкості у гібриду Альдазор (справа), 2024 рік.

Польові дослідження проведені згідно з методикою Державного сорто випробування [19]. Схрещування були проведені у 2023 році. Сівбу та оцінку експериментальних гібридів проводили 15.05.2024 та 01.05.2025 рр., ручними саджалками, схема посіву стандартна 70×25 см, в трьох разовій повторності, попередник чорний пар. Розміщення дослідних ділянок рандомізоване [20]. Облікова ділянка становила 16,8 м². Додаткове підживлення на посівах не проводили. Для боротьби з бур'янами використовували суміш ґрунтових гербіцидів Дуал Голд (960 г/л S-метолахлор) та Гезагард (500 г/л прометрин) за дві неділі до сівби, норма внесення 2,0 л/га, а також ручні прополювання за потреби.

За результатами діалельних схрещувань було отримано 68 експериментальних гібридів класичного напрямку вирощування. Які були отримані у результаті схрещування 20 ліній відновників фертильності пилку соняшника власної селекції. Серед яких 19 ліній отримані методом комбінативної селекції та одна лінія (ХНАУ488В) створена методом мутаційної селекції. У якості материнських компонентів було використано чотири лінії сербської селекції – А620-16, А25, OD-DI-65-SU та НА-26-IMI-PR.

Статистичну обробку даних проводили у програмному забезпеченні Past 5.3. [21].

Результати та їх обговорення

За результатами лабораторної оцінки експериментальних гібридів соняшника було встановлено, що контрольні гібриди П64ЛП130 та Альдазор продемонстрували повну відсутність ураження (0 % уражених рослин, відсутність бульбочок), що відповідало максимальному балу стійкості – 9. Натомість стандарти СИ Бакарді КЛП та СИ Діамантіс характеризувалися високим рівнем сприйнятливості (83,3–94,9 % уражених рослин), що відповідало 3 балам стійкості.

Нами було встановлено, що серед експериментальних гібридів найбільш цінними за рівнем лабораторної стійкості виявилися гібриди з материнською лінією А25. Зокрема, А25×СД-018В та А25×СД-06В не мали жодної ураженої рослини (0 %) та мали найвищий ступінь стійкості – 9 балів. Низький рівень ураження (5,0–10,5 %) із незначною кількістю бульбочок відзначено у комбінаціях А25×СД-047В, А25×СД-049В та А25×СД-016В, що відповідало 8 балам стійкості. Більшість інших комбінацій за участю А25 характеризувалася середнім рівнем ураження до 58,8 % з формуванням від 8 до 44 бульбочок, що відповідало 7–8 балам стійкості відповідно.

Гібриди за участю материнської лінії А620-16 у переважній більшості випадків проявили високу сприйнятливості. Для 12 із 17 комбінацій цієї групи рівень ураження становив 80,0–100 %, а загальна кількість бульбочок на рослинах перевищувала 100 шт., що відповідало мінімальному показнику стійкості (3 бали). Винятком була комбінація А620-16×СД-044В (28,6 % уражених рослин, 20 бульбочок, 7 балів), яка демонструвала помірну стійкість.

Аналогічна тенденція встановлена для гібридів із материнськими лініями OD-DI-65-SU та НА-26-IMI-PR. Більшість цих комбінацій мала 80–100 % уражених рослин із понад 100 бульбочками на кореневій системі рослин, що свідчить про їх високу

чутливість до паразита (3 бали). Окремі комбінації (наприклад, OD-DI-65-SU×СД-034В та OD-DI-65-SU×СД-014В) формували 100–130 бульбочок при дещо нижчому відсотку ураження і були оцінені нами у 6 балів, що відповідає середньому рівню стійкості.

Загалом, результати лабораторної оцінки свідчать про істотну залежність прояву стійкості від генетичної природи материнського компонента. Найвищий селекційний інтерес становлять гібриди за участю лінії А25, які поєднували низький відсоток ураження з мінімальною кількістю бульбочок та високим інтегральним балом стійкості (8–9). Натомість більшість комбінацій з лініями А620-16, OD-DI-65-SU та НА-26-IMI-PR в умовах штучного інфекційного фону виявилися нестійкими до агресивних рас вовчка, що обмежує їх використання як донорів резистентності у подальших селекційних програмах та перспективі їх впровадження у виробництво (*табл. 1*).

Відповідно до отриманих нами результатів польового оцінювання експериментальних гібридів соняшника та гібридів стандартів в умовах природного фону дослідного поля у період 2024 та 2025 років. Нами були виділені перспективні гібриди соняшника зі стійкістю до 6 рас вовчка (А–F), а також, можливо, і до раси G.

Контрольні гібриди П64ЛП130 та Альдазор упродовж обох років не мали жодної ураженої рослини (0,0 %), що відповідало максимальному балу стійкості – 9. Ці гібриди характеризуються високою стійкістю до рас вовчка А–G. Водночас стандарти СИ Бакарді КЛП та СИ Діамантіс характеризувалися стабільним ураженням на рівні 18,7–19,6 % із формуванням значної кількості стебел паразита (до 45 шт. у 2024 р.), що відповідало 5 балам стійкості. Дані гібриди за інформацією оригінаторів мають генетичну стійкість до п'яти рас вовчка А–Е. Це свідчить про наявність рас вовчка на дослідному полі, як мінімум 6 раси вовчка, до яких дані гібриди стандарти не мають стійкості.

Серед експериментальних гібридів найвищий рівень польової стійкості продемонстрували комбінації за участю материнської лінії А25. Повну відсутність ураження в обидва роки виявлено у гібридів А25×СД-014В, А25×СД-017В, А25×СД-049В, А25×СД-018В та А25×СД-06В (0,0 %, 9 балів). Також, високий рівень резистентності у природньому фоні нами було встановлено для комбінацій гібридів А25×СД-036 та А25×СД-029В, де середній рівень ураження становив лише 0,7–0,8 % (8 балів). Переважна більшість інших комбінацій цієї групи характеризувалася низьким або помірним ураженням (4,2–15,2 %) із балом стійкості 6–7, що свідчить про їх добру адаптивність в умовах природного інфекційного фону.

Гібриди з материнською лінією А620-16 проявили значно більшу варіабельність за рівнем польової стійкості. Частина комбінацій наприклад: А620-16×СД-051В, А620-16×СД-049В характеризувалася високим ступенем ураження – 32,0–33,3 % (4 бали), що свідчить про їх сприйнятливості. Водночас окремі гібриди (А620-16×СД-036, А620-16×СД-054В, А620-16×СД-048В) мали низький рівень ураження (2,2–4,5 %) і були оцінені нами у 7 балів, що вказує на наявність генетично обумовленої толерантності у певних комбінаціях.

Таблиця 1

Результати лабораторної оцінки експериментальних гібридів соняшника до вовчка

№	Гібридна комбінація	Загальна кількість проаналізованих рослин, шт.	Кількість уражених рослин		Загальна кількість бульбочок на рослинах, шт.	Бал стійкості
			шт.	%		
1	П64ЛП130 (Стандарт)	38	0	0,0	0	9
2	Альдазор (Стандарт)	40	0	0,0	0	9
3	СИ Бакарді КЛП (Стандарт)	36	30	83,3	>100	3
4	Си Діамантіс (Стандарт)	39	37	94,9	>100	3
5	A25×CD-044B	40	20	50,0	26	8
6	A25×CD-036	36	8	22,2	10	8
7	A25×XHAУ488B	40	12	30,0	12	8
8	A25×CD-034B	34	20	58,8	36	7
9	A25×CD-029B	36	14	38,9	18	8
10	A25×CD-014B	40	8	20,0	24	8
11	A25×CD-051B	34	8	23,5	8	8
12	A25×CD-039-B	34	12	35,3	12	8
13	A25×CD-010B	38	16	42,1	44	7
14	A25×CD-017B	40	6	15,0	20	8
15	A25×CD-057B	38	16	42,1	26	8
16	A25×CD-017B	40	2	5,0	4	8
17	A25×CD-049B	40	4	10,0	4	8
18	A25×CD-016B	38	4	10,5	6	8
19	A25×CD-047B	36	2	5,6	2	8
20	A25×CD-048B	32	14	43,8	14	8
21	A25×CD-018B	32	0	0,0	0	9
22	A25×CD-038B	36	6	16,7	6	8
23	A25×CD-06B	36	0	0,0	0	9
24	A620-16×CD-034B	14	14	100,0	>100	3
25	A620-16×CD-036	36	32	88,9	>100	3
26	A620-16×CD-051B	38	38	100,0	>100	3
27	A620-16×CD-06B	40	26	65,0	>100	3
28	A620-16×CD-017B	38	38	100,0	>100	3
29	A620-16×CD-054B	34	34	100,0	>100	3
30	A620-16×CD-049B	34	34	100,0	>100	3
31	A620-16×CD-039-B	30	30	100,0	>100	3
32	A620-16×CD-014B	30	24	80,0	>100	3
33	A620-16×CD-029B	28	28	100,0	>100	3
34	A620-16×CD-044B	14	4	28,6	20	7
35	A620-16×CD-038B	40	34	85,0	>100	3
36	A620-16×CD-016B	38	38	100,0	>100	3
37	A620-16×CD-048B	46	46	100,0	>100	3
38	A620-16×CD-018B	8	8	100,0	>100	3
39	A620-16×XHAУ488B	36	30	83,3	>100	3
40	A620-16×CD-047B	30	30	100,0	>100	3
41	OD-DI-65-SU×CD-036	38	34	89,5	>100	3
42	OD-DI-65-SU×CD-051B	32	32	100,0	>100	3
43	OD-DI-65-SU×CD-054B	34	32	94,1	>100	3
44	OD-DI-65-SU×CD-049B	40	32	80,0	>100	3
45	OD-DI-65-SU×XHAУ488B	36	36	100,0	>100	3
46	OD-DI-65-SU×CD-034B	34	30	88,2	100	6
47	OD-DI-65-SU×CD-029B	36	36	100,0	>100	3
48	OD-DI-65-SU×CD-057B	34	30	88,2	>100	3
49	OD-DI-65-SU×CD-014B	38	36	94,7	130	6
50	OD-DI-65-SU×CD-044B	40	40	100,0	>100	3
51	OD-DI-65-SU×CD-06B	28	26	92,9	>100	3
52	OD-DI-65-SU×CD-038B	32	30	93,8	>100	3
53	OD-DI-65-SU×CD-048B	36	36	100,0	>100	3
54	OD-DI-65-SU×CD-018B	38	36	94,7	>100	3
55	OD-DI-65-SU×CD-047B	34	34	100,0	>100	3
56	OD-DI-65-SU×CD-059B	38	38	100,0	>100	3
57	HA-26-IMI-PR×XHAУ488B	32	28	87,5	>100	3
58	HA-26-IMI-PR×CD-034B	34	34	100,0	>100	3
59	HA-26-IMI-PR×CD-051B	38	38	100,0	>100	3
60	HA-26-IMI-PR×CD-016B	38	38	100,0	108	6
61	HA-26-IMI-PR×CD-044B	30	30	100,0	>100	3
62	HA-26-IMI-PR×CD-054B	32	30	93,8	>100	3
63	HA-26-IMI-PR×CD-036	38	38	100,0	>100	3
64	HA-26-IMI-PR×CD-014B	38	36	94,7	>100	3
65	HA-26-IMI-PR×CD-06B	34	34	100,0	>100	3
66	HA-26-IMI-PR×CD-057B	32	32	100,0	>100	3
67	HA-26-IMI-PR×CD-059B	40	34	85,0	>100	3
68	HA-26-IMI-PR×CD-047B	30	28	93,3	>100	3
69	HA-26-IMI-PR×CD-049B	32	30	93,8	>100	3
70	HA-26-IMI-PR×CD-038B	36	36	100,0	>100	3
71	HA-26-IMI-PR×CD-018B	38	30	78,9	>100	3
72	HA-26-IMI-PR×CD-048B	38	38	100,0	>100	3

Для гібридів за участю OD-DI-65-SU характерним було переважно середнє ураження (16,6–31,2 %), що відповідало 4–5 балам стійкості. Водночас комбінації

OD-DI-65-SU×CD-036, OD-DI-65-SU×XHAУ488B та OD-DI-65-SU×CD-038B вирізнялися зниженим рівнем ураження (3,5–8,4 %) і були оцінені у 7 балів.

Аналогічна тенденція простежувалася і для гібридів із материнською лінією НА-26-ІМІ-PR. Більшість із них мали середній рівень ураження (18,3–24,4 %, 5 балів), проте окремі комбінації

(НА-26-ІМІ-PR×ХНАУ488В, НА-26-ІМІ-PR×СД-051В, НА-26-ІМІ-PR×СД-057В) демонстрували підвищену стійкість із середнім ураженням 6,9–8,3 % (7 балів) (*табл. 2*).

Таблиця 2

Результати польової оцінки експериментальних гібридів соняшника до вовчка

№	Гібридна комбінація	2024			2025			Середнє ураження посівів за роки, %	Бал стійкості
		ЗКО, шт	КУ, шт	ЗКСВ, шт	ЗКО, шт	КУ, шт	ЗКСВ, шт		
1	П64ЛП130 (Стандарт)	74	0	0	65	0	0	0,0	9
2	Альдазор (Стандарт)	66	0	0	63	0	0	0,0	9
3	СИ Бакарді КУП (Стандарт)	74	16	45	70	11	21	18,7	5
4	Си Діамантіс (Стандарт)	72	14	38	66	13	19	19,6	5
5	A25×СД-044В	68	15	25	72	6	9	15,2	5
6	A25×СД-036	74	0	0	65	1	1	0,8	8
7	A25×ХНАУ488В	62	5	9	60	2	3	5,7	7
8	A25×СД-034В	71	8	17	68	6	10	10,0	7
9	A25×СД-029В	65	0	0	74	1	2	0,7	8
10	A25×СД-014В	60	0	0	63	0	0	0,0	9
11	A25×СД-051В	73	2	5	71	4	7	4,2	7
12	A25×СД-039-В	69	9	14	67	2	5	8,0	7
13	A25×СД-010В	66	13	25	62	5	11	13,9	7
14	A25×СД-017В	75	0	0	75	0	0	0,0	9
15	A25×СД-057В	61	7	19	69	8	11	11,5	6
16	A25×СД-017В	64	0	0	61	0	0	0,0	9
17	A25×СД-049В	70	0	0	66	0	0	0,0	9
18	A25×СД-016В	67	2	2	70	4	7	4,3	7
19	A25×СД-047В	72	1	2	64	0	0	0,7	8
20	A25×СД-048В	63	7	16	73	5	9	9,0	7
21	A25×СД-018В	68	0	0	61	0	0	0,0	9
22	A25×СД-038В	61	4	7	68	2	3	4,7	7
23	A25×СД-06В	75	0	0	75	0	0	0,0	9
24	A620-16×СД-034В	66	14	25	62	17	23	24,3	5
25	A620-16×СД-036	70	0	0	66	4	12	3,0	7
26	A620-16×СД-051В	62	22	36	70	20	31	32,0	4
27	A620-16×СД-06В	74	7	11	64	2	3	6,3	7
28	A620-16×СД-017В	65	19	27	73	11	17	22,1	5
29	A620-16×СД-054В	69	0	0	67	3	3	2,2	7
30	A620-16×СД-049В	60	25	39	60	15	21	33,3	4
31	A620-16×СД-039-В	73	11	18	72	8	17	13,1	6
32	A620-16×СД-014В	67	6	8	69	19	22	18,2	5
33	A620-16×СД-029В	64	18	31	65	3	8	16,4	5
34	A620-16×СД-044В	72	2	3	74	12	19	9,5	7
35	A620-16×СД-038В	63	16	21	63	6	13	17,5	5
36	A620-16×СД-016В	71	13	27	71	18	20	21,8	5
37	A620-16×СД-048В	68	5	15	62	1	1	4,5	7
38	A620-16×СД-018В	66	21	32	75	9	14	21,9	5
39	A620-16×ХНАУ488В	75	9	15	68	14	21	16,3	5
40	A620-16×СД-047В	60	17	31	61	5	12	18,3	5
41	OD-DI-65-SU×СД-036	62	1	4	66	10	19	8,4	7
42	OD-DI-65-SU×СД-051В	74	23	42	74	7	11	20,3	5
43	OD-DI-65-SU×СД-054В	69	8	21	63	16	18	18,5	5
44	OD-DI-65-SU×СД-049В	61	15	27	70	13	21	21,6	5
45	OD-DI-65-SU×ХНАУ488В	73	4	7	67	2	5	4,2	7
46	OD-DI-65-SU×СД-034В	65	20	38	60	19	23	31,2	5
47	OD-DI-65-SU×СД-029В	70	10	16	72	4	7	9,9	7
48	OD-DI-65-SU×СД-057В	67	25	45	69	0	0	18,7	5
49	OD-DI-65-SU×СД-014В	64	12	20	65	20	28	24,8	5
50	OD-DI-65-SU×СД-044В	72	20	46	73	11	24	21,4	5
51	OD-DI-65-SU×СД-06В	63	16	19	64	15	20	24,4	5
52	OD-DI-65-SU×СД-038В	71	2	5	71	3	5	3,5	7
53	OD-DI-65-SU×СД-048В	68	22	36	66	8	13	22,2	5
54	OD-DI-65-SU×СД-018В	75	7	12	75	10	11	11,3	6
55	OD-DI-65-SU×СД-047В	60	19	31	62	1	1	16,6	5
56	OD-DI-65-SU×СД-059В	62	21	33	68	17	25	29,4	4
57	НА-26-ІМІ-PR×ХНАУ488В	74	3	7	61	6	8	6,9	7
58	НА-26-ІМІ-PR×СД-034В	66	11	22	70	14	15	18,3	5
59	НА-26-ІМІ-PR×СД-051В	69	6	9	64	5	7	8,3	7
60	НА-26-ІМІ-PR×СД-016В	61	18	30	73	9	15	20,9	5
61	НА-26-ІМІ-PR×СД-044В	73	13	24	67	18	26	22,3	5
62	НА-26-ІМІ-PR×СД-054В	65	5	13	60	7	11	9,7	7
63	НА-26-ІМІ-PR×СД-036	70	21	38	74	13	17	23,8	5
64	НА-26-ІМІ-PR×СД-014В	67	9	16	63	10	14	14,7	6
65	НА-26-ІМІ-PR×СД-06В	64	17	29	72	16	22	24,4	5
66	НА-26-ІМІ-PR×СД-057В	72	7	15	69	3	8	7,0	7
67	НА-26-ІМІ-PR×СД-059В	63	7	10	65	19	28	20,2	5
68	НА-26-ІМІ-PR×СД-047В	71	8	8	71	4	9	8,5	7
69	НА-26-ІМІ-PR×СД-049В	68	15	20	62	15	23	23,1	5
70	НА-26-ІМІ-PR×СД-038В	75	4	13	75	11	18	10,0	7
71	НА-26-ІМІ-PR×СД-018В	60	9	17	68	2	3	9,0	7
72	НА-26-ІМІ-PR×СД-048В	62	12	19	70	15	21	20,4	5

Примітки: ЗКО – загальна кількість оцінених рослин; КУ – кількість уражених; ЗКСВ – загальна кількість стебел вовчка.

Загалом польова оцінка підтвердила високу селекційну цінність гібридів за участю лінії А25, які поєднували стабільну стійкість упродовж двох років

досліджень із мінімальним розвитком паразита. Подібна варіабельність реакції може пояснюватися впливом полігенних локусів, які регулюють початкові

стадії взаємодії з паразитом, зокрема пригнічення проростання насіння вовчка, утворення фізіологічних бар'єрів у зоні контакту та стримування розвитку гаусторіальної системи, що також було предметом досліджень інших науковців [22–25].

За результатами проведеного нами регресійного аналізу було встановлено, що коефіцієнт кореляції становив $r = 0,683$, що свідчить про наявність помірного позитивного зв'язку між досліджуваними показниками. Коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,467$ вказує, що близько 46,7 % варіації польового ураження пояснюється варіацією лабораторного показника. Статистична значущість моделі підтверджена дуже низьким рівнем p -value ($p < 0,001$), що свідчить про достовірність встановленої залежності.

Кутовий коефіцієнт регресії (0,178) демонструє, що зі збільшенням лабораторного ураження на 1 % середній рівень польового ураження зростає приблизно на 0,18 %. Водночас значення R^2 менше 0,5 свідчить про суттєвий вплив інших чинників на формування польової резистентності, зокрема екологічних умов року, неоднорідності інфекційного фону та взаємодії генотип $\times$ середовище (рис. 2).

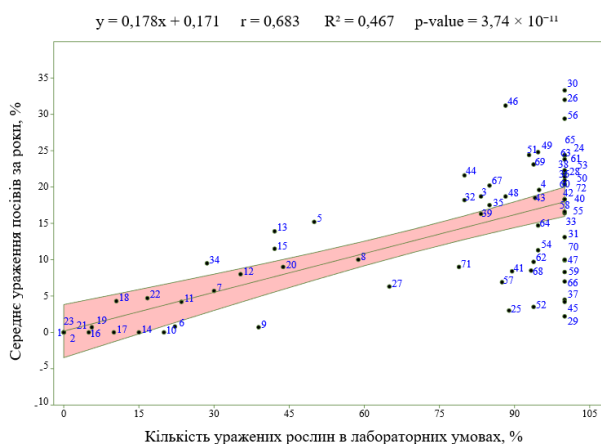


Рис. 2. Графік регресії ураження рослин в лабораторних та польових умовах

Примітки: номери гібридів на графіку відповідно до **таблиці 1** та **таблиці 2**

Отримані результати підтверджують наявність достовірного прямого зв'язку між лабораторною та польовою оцінками та свідчать про достатню прогностичну цінність лабораторного тестування при первинному доборі селекційного матеріалу, хоча повна характеристика стійкості потребує обов'язкової перевірки в умовах природного інфекційного фону.

Висновки

У результаті проведених нами досліджень було встановлено суттєву диференціацію гібридів за рівнем ураження та визначальну роль материнського компонента у формуванні резистентності. Найвищу стійкість у лабораторних і польових умовах продемонстрували комбінації за участю лінії A25, зокрема A25 $\times$ СД-014В, A25 $\times$ СД-017В, A25 $\times$ СД-

049В, A25 $\times$ СД-018В та A25 $\times$ СД-06В, які у польових умовах упродовж двох років не мали уражених рослин (0 %, 9 балів). Натомість більшість гібридів за участю ліній A620-16, OD-DI-65-SU та HA-26-IMI-PR характеризувалися підвищеною сприйнятливістю.

Регресійний аналіз виявив достовірний помірний позитивний зв'язок між лабораторними та польовими показниками ураження ($r = 0,683$; $p < 0,001$), при цьому 46,7 % варіації польової стійкості пояснюється результатами лабораторного тестування. Отримані дані підтверджують доцільність використання лабораторного скринінгу для первинного добору селекційного матеріалу та дозволяють виділити гібриди за участю лінії A25 як найбільш цінні для подальшого дослідження.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Vasylykova, K., Andriienko, O., Vasylykovskiy, O., Andriienko, A., Volodymyr, P., & Malakhovska, V. (2021). Dynamics of export potential of sunflower oil in Ukraine. *Helia*, 44 (74), 115–123. <https://doi.org/10.1515/helia-2021-0001>
2. Pilorgé, E. (2020). Sunflower in the global vegetable oil system: situation, specificities and perspectives. *OCL*, 27, 34. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020028>
3. Anushree, S., André, M., Guillaume, D., & Frédéric, F. (2017). Stearic sunflower oil as a sustainable and healthy alternative to palm oil. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37 (3), 18. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0426-x>
4. Chuiko, D. (2021). Plant growth regulator effects on sunflower parents and F1 hybrids. *Žemės ūkio Mokslai*, 28 (2). <https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v28i2.4508>
5. Seiler, G. J., Qi, L. L., & Marek, L. F. (2017). Utilization of sunflower crop wild relatives for cultivated sunflower improvement. *Crop Science*, 57 (3), 1083–1101. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.10.0856>
6. Kumar, J., Gupta, D. S., Gupta, S., Dubey, S., Gupta, P., & Kumar, S. (2017). Quantitative trait loci from identification to exploitation for crop improvement. *Plant Cell Reports*, 36 (8), 1187–1213. <https://doi.org/10.1007/s00299-017-2127-y>
7. Tshikunde, N. M., Mashilo, J., Shimelis, H., & Odindo, A. (2019). Agronomic and physiological traits, and associated quantitative trait loci (QTL) affecting yield response in wheat (*Triticum aestivum* L.): A review. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1428. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01428>

8. Xu, Y., Li, P., Yang, Z., & Xu, C. (2017). Genetic mapping of quantitative trait loci in crops. *The Crop Journal*, 5 (2), 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.003>
9. Pubert, C., Boniface, M.-C., Legendre, A., Chabaud, M., Carrère, S., Callot, C., Cravero, C., Dufau, I., Patrascoiu, M., Baussart, A., Belmonte, E., Gautier, V., Poncet, C., Zhao, J., Hu, L., Zhou, W., Langlade, N., Vautrin, S., Coussy, C., & Muñoz, S. (2024). A cluster of putative resistance genes is associated with a dominant resistance to sunflower broomrape. *Theoretical and Applied Genetics*, 137 (5), 103. <https://doi.org/10.1007/s00122-024-04594-0>
10. Velasco, L., Pérez-Vich, B., & Fernández-Martínez, J. M. (2016). Research on resistance to sunflower broomrape: an integrated vision. *OCL*, 23 (2), D203. <https://doi.org/10.1051/ocl/2016002>
11. Seiler, G. J. (2019). Genetic resources of the sunflower crop wild relatives for resistance to sunflower broomrape. *Helia*, 42 (71), 127–143. <https://doi.org/10.1515/helia-2019-0012>
12. Seiler, G. J., & Jan, C.-C. (2014). Wild sunflower species as a genetic resource for resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.). *Helia*, 37 (61), 129–139. <https://doi.org/10.1515/helia-2014-0013>
13. Terzic, S., Dedic, B., Atlagic, J., Jovic, S., & Tancic, S. (2010). Screening wild sunflower species and F1 interspecific hybrids for resistance to broomrape. *Helia*, 33 (53), 25–30. <https://doi.org/10.2298/hel1053025t>
14. Popov, V. M., Tereniak, Yu. M., Akinina, H. Ye., Sharypina, Ya. Yu., Dolhova, T. A., & Kyrchenko, V. V. (2015). Detektsiia hena Or5 stiikosti do vovchka soniashnyku za dopomohoiu SCAR-markeru RTS05 [Detection of Or5 gene of resistance to sunflower broomrape using SCAR-marker RTS05]. *Fakty Eksperymentalnoi Evoliutsii Orhanizmv*, 17, 330–332. [in Ukrainian]
15. Kurylych, D. V., & Makliak, K. M. (2025). Inheritance of resistance to race f of broomrape (*Orobanche cumana* Wallr.) by sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 58 (4), 57–63. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2024.4.9>
16. Bilyk, V. V., & Chuiko, D. V. (2025). Breeding assessment of inbred sunflower lines by a set of economic traits and resistance to *Orobanche cumana*. *Plant Breeding and Seed Production*, 128, 13–19. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2025.347588>
17. Ministry of Economy, Environment and Agriculture of Ukraine. (2026). *Derzhavnyi reiestr sortiv roslyn, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini* [State register of plant varieties suitable for dissemination in Ukraine]. <https://me.gov.ua/Documents/Detail/c5e26c83-ac95-43b8-8d53-a5f8f907099f> [in Ukrainian]
18. Kyrchenko, V. V. (Ed.). (2010). *Spetsialna selektsiia i nasinnnytstvo polovykh kultur* [Special breeding and seed production of field crops] (Navch. posib.). IR im. V. Ya. Yurieva NAAN [in Ukrainian]
19. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur. Vyp. 1. Zahalna chastyna* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part]. Derzhavna komisiia Ukrainy po vyprobuvaniu ta okhoroni sortiv roslyn [in Ukrainian]
20. Ermantraut, E. R., Hoptsi, T. I., Kryvoruchenko, R. V., Turchynova, N. P., Chuiko, D. V., Lymanska, S. V., Hudym, O. V., & Kravchenko, A. I. (2025). *Metodyka selektsiinoho eksperymentu (v roslynnytvi)* [Methodology of breeding experiment (in plant growing)] (Navch. posib.). Biotekhknyha [in Ukrainian]
21. Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1), 4. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf
22. Calderón-González, A., Pérez-Vich, B., Pouilly, N., Boniface, M.-C., Louarn, J., Velasco, L., & Muñoz, S. (2023). Association mapping for broomrape resistance in sunflower. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1056231. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1056231>
23. Sisou, D., Tadmor, Y., Plakhine, D., Ziadna, H., Hübner, S., & Eizenberg, H. (2021). Biological and transcriptomic characterization of pre-haustorial resistance to sunflower broomrape (*Orobanche cumana* W.) in Sunflowers (*Helianthus annuus*). *Plants*, 10 (9), 1810. <https://doi.org/10.3390/plants10091810>
24. Fernández-Aparicio, M., del Moral, L., Muñoz, S., Velasco, L., & Pérez-Vich, B. (2021). Genetic and physiological characterization of sunflower resistance provided by the wild-derived OrDeb2 gene against highly virulent races of *Orobanche cumana* Wallr. *Theoretical and Applied Genetics*, 135 (2), 501–525. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03979-9>
25. Cvejić, S., Radanović, A., Dedić, B., Jocković, M., Jocić, S., & Miladinović, D. (2020). Genetic and genomic tools in sunflower breeding for broomrape resistance. *Genes*, 11 (2), 152. <https://doi.org/10.3390/genes11020152>

ORCID

V. Bilyk  <https://orcid.org/0009-0008-6800-9251>
D. Chuiko  <https://orcid.org/0000-0002-9271-6334>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Adaptive potential of grain amaranth by productivity elements in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine

T. Hoptsiy | V. Antonenko✉

Article info

Correspondence Author

V. Antonenko

E-mail:

valetynantonenko2000@gmail.com

State Biotechnological
University,
44 Alchevskih Str.,
Kharkiv, 61000,
Ukraine

Citation: Hoptsiy, T., & Antonenko, V. (2026). Adaptive potential of grain amaranth by productivity elements in the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 68–73. doi: 10.31210/spi2026.29.01.11

The article presents the results of the evaluation of the adaptive potential of 23 collection samples of grain species of the genus *Amaranthus* (*A. cruentus* – 11 samples, *A. hypochondriacus* – 8, *A. caudatus* – 1, *A. hybridus* – 3) based on the main productivity elements under the conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine. The research was conducted during 2012–2014 and 2024–2025 at the experimental field of the State Biotechnological University under variable weather conditions, including both drought and high-temperature periods (2012, 2024) and relatively favourable years (2013–2014, 2025). The evaluation of adaptive potential was carried out using three key indicators: panicle length, panicle productivity, and 1000-seed weight, applying the following parameters: stability (S.F.), homeostaticity (Hom), breeding value (Sc), and agronomic stability (As). The average coefficient of variation was 12.7 % for panicle length, 24.2 % for panicle productivity, and 11.6 % for 1000-seed weight. Panicle length varied from 29.0 cm (K-253) to 47.0 cm (K-160), panicle productivity – from 4.6 g (Bp 721) to 14.5 g (K-219), and 1000-seed weight – from 479 mg (K-251) to 701 mg (Bp 719). For all three traits studied, the agronomic stability coefficient (As) exceeded 70 % in the majority of samples, reaching 90–99 % in the best genotypes. The analysis of homeostaticity (Hom) and breeding value (Sc) indicators allowed the identification of the most promising samples. For 1000-seed weight, the standout samples were Bp 719 (701 mg), Bp 625, K-219, and K-160, which were characterized by the highest values of Hom and Sc. The sample K-219 (*A. hypochondriacus*) demonstrated the maximum panicle productivity (14.5 g) and high adaptive parameters, while K-160 (*A. caudatus*) showed the maximum panicle length (47.0 cm) and stability of trait expression. Cluster analysis confirmed a clear differentiation of the studied samples according to the complex of productivity and adaptive indicators, revealing groups of genotypes with similar productivity traits. The selected samples (Bp 719, Bp 625, K-219, K-160) represent particularly valuable source material for future breeding programs. They combine a high level of productivity with excellent stability and ecological plasticity, making them promising for the development of high-yielding, stress-resistant varieties of grain amaranth adapted to the climatic conditions of the Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

Keywords: adaptive potential, grain amaranth, productivity elements, stability, homeostaticity, breeding value, agronomic stability, Eastern Forest-Steppe of Ukraine.

Адаптивний потенціал зернового амаранту за елементами продуктивності в Східному Лісостепу України

Т. І. Гонцій | В. В. Антоненко

Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна

У статті представлено результати оцінки адаптивного потенціалу 23 колекційних зразків зернових видів роду *Amaranthus* (*A. cruentus* – 11 зразків, *A. hypochondriacus* – 8, *A. caudatus* – 1, *A. hybridus* – 3) за основними елементами продуктивності в умовах Східного Лісостепу України. Дослідження проводили протягом 2012–2014 та 2024–2025 років на дослідному полі Державного біотехнологічного університету в умовах мінливості погодних факторів, що включали як посушливі та високотемпературні періоди (2012, 2024 рр.), так і відносно сприятливі роки (2013–2014, 2025 рр.). Оцінювання адаптивного потенціалу здійснювали за трьома ключовими показниками: довжиною волоті, продуктивністю волоті та масою 1000 насінин із застосуванням комплексних параметрів: стабільності (S.F.), гомеостатичності (Hom), селекційної цінності (Sc) та агрономічної стабільності (As). Середній коефіцієнт варіації склав 12,7 % за довжиною волоті, 24,2 % – за продуктивністю волоті та 11,6 % – за масою 1000 насінин. Довжина волоті варіювала від 29,0 см (K-253) до 47,0 см (K-160), продуктивність волоті – від 4,6 г (Bp 721) до 14,5 г (K-219), маса 1000 насінин – від 479 мг (K-251) до 701 мг (Bp 719). Для всіх трьох досліджуваних ознак у більшості зразків значення коефіцієнта агрономічної стабільності (As) перевищувало 70 %, а в кращих генотипів досягало 90–99 %. Аналіз показників гомеостатичності (Hom) та селекційної цінності (Sc) дозволив виділити найбільш перспективні зразки. За масою 1000 насінин вирізнялися Bp 719 (701 мг), Bp 625, K-219 та K-160, які характеризувалися найвищими значеннями Hom і Sc. Зразок K-219 (*A. hypochondriacus*) продемонстрував максимальну продуктивність волоті (14,5 г) та високі адаптивні параметри, а K-160 (*A. caudatus*) – максимальну довжину волоті (47,0 см) та стабільність прояву ознак. Кластерний аналіз підтвердив чітку диференціацію досліджуваних зразків за комплексом продуктивних і адаптивних показників, виявивши групи генотипів зі схожими показниками продуктивності. Виділені зразки (Bp 719, Bp 625, K-219, K-160) є особливо цінним вихідним матеріалом для майбутніх селекційних програм. Вони поєднують високий рівень продуктивності з відмінною стабільністю та екологічною пластичністю, що робить їх перспективними для створення високопродуктивних, стійких до стресових факторів сортів зернового амаранту, адаптованих до умов клімату Східного Лісостепу України.

Ключові слова: адаптивний потенціал, зерновий амарант, елементи продуктивності, стабільність, гомеостатичність, селекційна цінність, агрономічна стабільність, Східний Лісостеп України.



Бібліографічний опис для цитування: Гонцій Т. І., Антоненко В. В. Адаптивний потенціал зернового амаранту за елементами продуктивності в Східному Лісостепу України. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 68–73.

Вступ

Значну роль у підвищенні врожайності провідних сільськогосподарських культур світу відіграла «зелена революція», в той же час вона призвела до використання обмеженої кількості рослин, збідненню генетичної різноманітності та посиленню залежності глобальних продовольчих програм від невеликої кількості основних видів рослинного світу [1]. Проте прогнозоване збільшення чисельності населення разом із прогресуючою урбанізацією до 2050 року призведе до значного зростання попиту на продовольство на 35–62 % [2].

У сучасних умовах зміни клімату та зростання потреби в альтернативних джерелах рослинного білка підвищується інтерес у світі до нетрадиційних культур. Такою культурою є амарант (шириця) (*Amaranthus L.*), який належить до псевдозлаків і характеризується високим вмістом білка, збалансованим за амінокислотним складом. Включення амаранту до програм продовольчої безпеки деяких країн продемонструвало його позитивні властивості для покращення здоров'я дітей і людей похилого віку [3–5].

Амарант (*Amaranthus L.*) є перспективною культурою не тільки завдяки високій поживній цінності зерна та зеленої маси, але й завдяки його значній стійкості до стресових умов та широкому генетичному поліморфізму [5–7]. Більше того, його адаптивність до посушливих і бідних на поживні речовини ґрунтів робить амарант ідеальною рослиною для вирощування в регіонах з екологічними та ресурсними обмеженнями [8, 9].

Зернові види амаранту привертають особливу увагу селекціонерів як джерело білка в насінні з високим вмістом лізину, сквалену в олії та відсутністю глютену в сировині. На думку вчених, використання різних видів амаранту в селекції є ключовим чинником створення високопродуктивних і стійких сортів [10, 11].

Рід *Amaranthus* об'єднує до 70 видів, що створює широкі можливості для використання видового різноманіття в селекційній роботі [12].

До основних зернових видів амаранту належать *Amaranthus cruentus*, *A. hypochondriacus* та *A. caudatus* [13, 14]. Саме вони найчастіше використовуються як вихідний матеріал у селекційних програмах:

A. cruentus – характеризується високою врожайністю, гарною адаптацією до різних ґрунтово-кліматичних умов і стабільною якістю зерна [15]. *A. hypochondriacus* – відзначається крупним зерном, високим вмістом білка та незамінних амінокислот [16, 17]. *A. caudatus* – цінується за підвищену холодостійкість [18].

Напівкультурний вид *A. hybridus* використовують як джерело стійкості до посухи, хвороб і шкідників та гербіцидів [19, 20].

Колекції генетичних ресурсів світу охоплюють десятки видів та сотні–тисячі зразків, що створює основу для цілеспрямованого добору батьківських компонентів [21, 22]. За останні роки значна кількість зернового амаранту та його диких родичів генетично охарактеризовано на рівні цілого геному і виявлено

високе генетичне різноманіття всередині та між видами [23–25].

Однак значна частина оціненого різноманіття в культивованому генетичному пулі та диких родичах амаранту залишається недооціненою в селекційних програмах. Існує лише обмежена кількість прикладів використання генетичних ресурсів у селекції амаранту. Робоча колекція амаранту Родейлського дослідницького центру (RRC) у Пенсильванії, США, стала важливим джерелом цінних господарських ознак, включаючи стійкість до вилягання, осипання, раннє достигання та високу врожайність зерна [26]. Різноманіття, збережене в доступних генетичних ресурсах, становить основу для покращення культури.

Крім високого генетичного різноманіття, амарант демонструє значну морфологічну та агрономічну варіабельність, ймовірно, через широке глобальне поширення. Фенотипічні оцінки в регіонах інтродукції підкреслюють адаптивність амаранту до різноманітних середовищ. Оцінка фенотипічних ознак з широкої глобальної колекції показала зв'язок ознак з локальними екологічними умовами, на основі чого відібрано генотипи-кандидати для локальних селекційних програм [23, 27, 28].

Мета дослідження

Метою нашого дослідження була оцінка колекційних зразків зернових видів амаранту різного еколого-географічного походження за адаптивним потенціалом продуктивності з подальшим їх використанням в селекційних програмах.

Матеріали і методи

Дослідження проводили в різні роки (2012–2014 та 2024–2025 роках) на дослідному полі Державного біотехнологічного університету (до 2021 року Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва), що знаходиться в Харківській області (східна частина Лівобережного Лісостепу України).

В дослідженні використані зразки чотирьох видів амаранту різного походження: *A. cruentus* 11 зразків (9 зразків походженням з Мексики; 1 – Перу; 1 – США); *A. hypochondriacus* 8 зразків (4 – США, 4 – Мексика); *A. caudatus* 1 зразок (Великобританія); *A. hybridus* 3 зразки (2 – США, 1 – Мексика).

Вивчення проводили в колекційному розсаднику. Площа ділянки 2,25 м², повторність трикратна. Догляд за посівами, фенологічні спостереження та обліки проводили за Методикою державного сорто випробування [29]. Для аналізу адаптивного потенціалу зразків амаранту використовували показники: стабільність (S.F.), гомеостатичність (Hom), селекційна цінність (Sc), агрономічна стабільність (As) [30]. Статистичну обробку даних проводили за програмою «Microsoft Excel 2010» на персональному комп'ютері. Для характеристики досліджуваних зразків було використано метод кластерного аналізу з евклідовими відстанями та нормалізованими значеннями у програмному забезпеченні Past 5.3 [31].

Погодні умови протягом років досліджень були різноманітними, що дозволило оцінити реакцію амаранту на їх зміни. В цілому вегетаційний період 2012 року характеризувався посушливими умовами та підвищеним температурним режимом. В 2013 та 2014 роках погодні умови, в тому числі й кількість опадів, були наближені до оптимальних багаторічних даних. У 2024 році умови були складними для всіх сільськогосподарських культур, включаючи амарант. Протягом вегетаційного періоду фіксувалися високі температури, що значно перевищували середньо-багаторічні значення. Опади розподілялися нерівномірно або взагалі були відсутні. Зокрема, у травні випало лише 17,3 мм, а в червні – 49,3 мм опадів, що стало визначальним чинником для розвитку рослин

амаранту. Попри несприятливі умови, ця культура продемонструвала високу посухостійкість: рослини нормально розвивалися та формували повноцінні волоті, підтверджуючи свою адаптивність до посушливого клімату. У 2025 році погодні умови характеризувалися нестабільністю, проте загалом були сприятливими для амаранту.

Результати та їх обговорення

Аналіз колекційних зразків за характером варіювання ознак продуктивності свідчить про середній рівень варіювання довжини волоті – 12,7 % і маси 1000 насінин – 11,6 % і значне варіювання продуктивності волоті – 24,2 % між видами (*табл. 1*).

Таблиця 1

Характеристика зразків амаранту за адаптивним потенціалом за елементами продуктивності (2012–2014 та 2024–2025 pp.)

№ з/п	Назва зразка	Довжина волоті, см					Продуктивність волоті, г					Маса 1000 насінин, мг				
		$\bar{X}$	S.F.	Hom	Sc	As	$\bar{X}$	S.F.	Hom	Sc	As	$\bar{X}$	S.F.	Hom	Sc	As
1.	Вр 721	32,0	1.31	323.8	25.1	90	4.6	2.39	14.8	2.4	68	510	1.06	23743.7	468.6	98
2	Вр 719	39,2	1.64	243.7	30.7	83	10.8	2.06	38.2	5.7	72	701	1.03	74081.5	644.1	99
3.	Вр 663	39,8	1.41	349.4	31.2	89	5.4	1.76	21.4	2.9	75	484	1.13	10043.6	444.7	95
4.	K-254	29,6	2.24	123.1	23.2	76	13.1	2.82	44.6	6.9	71	559	1.46	3090.4	513.6	80
5.	K-248	39,0	1.20	512.7	30.6	92	9.2	1.86	39.0	4.8	76	501	1.13	11912.0	460.4	95
6	K-253	29,0	1.95	121.4	22.7	76	10.8	2.64	29.1	5.7	63	538	1.21	7585.5	494.4	92
7.	K-256	30,8	1.50	209.2	24.1	85	10.6	2.60	37.4	5.6	72	543	1.07	23606.8	498.9	97
8.	K-251	29,6	1.70	158.3	23.2	81	10.7	2.74	27.1	5.6	60	479	1.08	17916.3	440.1	97
9.	K-252	30,6	1.95	149.1	24.0	79	6.9	2.42	17.7	3.6	61	483	1.41	3737.5	443.8	85
10.	K-250	36,4	1.80	205.8	28.5	82	8.8	3.14	21.5	4.6	59	563	1.63	3056.3	517.3	81
11.	K-232	35,4	1.55	220.7	27.7	84	10.5	3.12	23.6	5.5	56	534	1.12	14551.8	490.7	96
12.	Вр 778	37,6	1.47	252.1	29.5	85	8.2	4.52	17.7	4.3	54	624	1.10	18909.8	573.4	96
13.	Вр 625	37,8	1.76	213.1	29.6	82	11.2	2.03	38.4	5.9	71	611	1.07	27521.6	561.4	98
14.	Вр 779	36,2	1.38	330.1	28.4	89	11.1	1.68	61.6	5.8	82	659	1.25	8445.8	605.5	90
15.	Вр 650	41,4	2.15	169.2	32.4	76	6.9	2.22	25.6	3.6	73	535	1.16	9995.4	491.6	94
16.	Вр 781	38,4	1.88	198.8	30.1	81	9.0	3.18	19.8	4.7	55	569	1.20	8764.0	524.7	93
17.	K-264	33,4	1.50	240.9	26.2	86	9.2	1.70	42.8	4.9	78	680	1.14	14338.4	624.8	95
18.	Вр 644	40,8	1.44	353.6	32.0	88	7.4	2.04	25.9	3.9	71	596	1.13	14220.0	547.6	96
19.	Вр 649	37,6	1.39	317.4	29.4	88	8.9	2.29	34.0	4.7	74	506	1.08	18875.2	464.9	97
20.	Вр 645	38,4	1.61	200.2	30.1	81	9.4	3.38	18.8	5.0	50	494	1.29	5652.4	453.9	91
21.	K-219	40,0	1.19	552.1	31.3	93	14.5	1.63	97.0	7.6	85	633	1.11	15411.1	581.6	96
22.	K-218	41,2	1.31	451.1	32.3	91	11.3	2.13	40.7	6.0	72	580	1.15	12202.5	532.9	95
23.	K-160	47,0	1.28	509.5	36.8	91	9.6	3.04	23.9	2.4	60	620	1.03	42977.2	569.7	99
V%		12,7						24,2						11,6		

Довжина волоті в середньому коливалася від 29,0 см у зразка K-253 (*A. cruentus*) K-251 (*A. cruentus*) до 47,0 см у зразка K-160 (*A. caudatus*), що свідчить про певну, але відносно помірну мінливість цієї ознаки. Продуктивність волоті змінювалася від 4,6 г Вр 721 (*A. cruentus*) до 14,5 г K-219 (*A. hypochondriacus*), що узгоджується з значним коефіцієнтом варіації (24,2 %) і вказує на різницю за продуктивністю волоті між зразками. Маса 1000 насінин варіювала орієнтовно від 479 мг K-251 (*A. cruentus*) до 701 мг Вр 719 (*A. cruentus*), при цьому варіація була середньою ($V = 11,6\%$), що свідчить про вищу однорідність зразків за цією ознакою.

При визначенні селекційної цінності колекційних зразків та їх адаптивного потенціалу за елементами продуктивності використано комплекс показників: стабільність, гомеостатичність, селекційна цінність і агрономічна стабільність. Показник стабільності відображає рівень фенотипової стійкості генотипу; його значення, що наближається до одиниці, свідчить про мінімальну залежність прояву ознаки

від умов навколишнього середовища. Гомеостатичність характеризує здатність генотипу зберігати відносну сталість прояву ознаки за змін екологічних чинників. Параметр селекційної цінності ґрунтується на співвідношенні рівня прояву ознаки в лімітуючих та оптимальних умовах вирощування з урахуванням середнього багаторічного показника. Агрономічна стабільність визначається як коефіцієнт, що відображає здатність зразку забезпечувати високий рівень прояву господарсько цінної ознаки в різних, зокрема стресових, умовах середовища.

Для всіх трьох ознак у більшості зразків значення As (агрономічної стабільності) перевищують 70 %, а в багатьох випадках сягають 90–99 %, що вказує на високу стабільність прояву ознак у мінливих умовах середовища. Високі значення Hom та Sc у ряду зразків (наприклад, за масою 1000 насінин у Вр 719 (*A. cruentus*), Вр 625 (*A. hypochondriacus*), K-219 (*A. hypochondriacus*), K-160 (*A. caudatus*)) свідчать про поєднання високого рівня ознаки з

високою гомеостатичністю й селекційною цінністю, що робить ці зразки перспективними для подальшого використання в селекції.

За результатами комплексної оцінки із застосуванням кластерного аналізу зразки було згруповано за ступенем подібності у відповідні кластери (рис. 1).

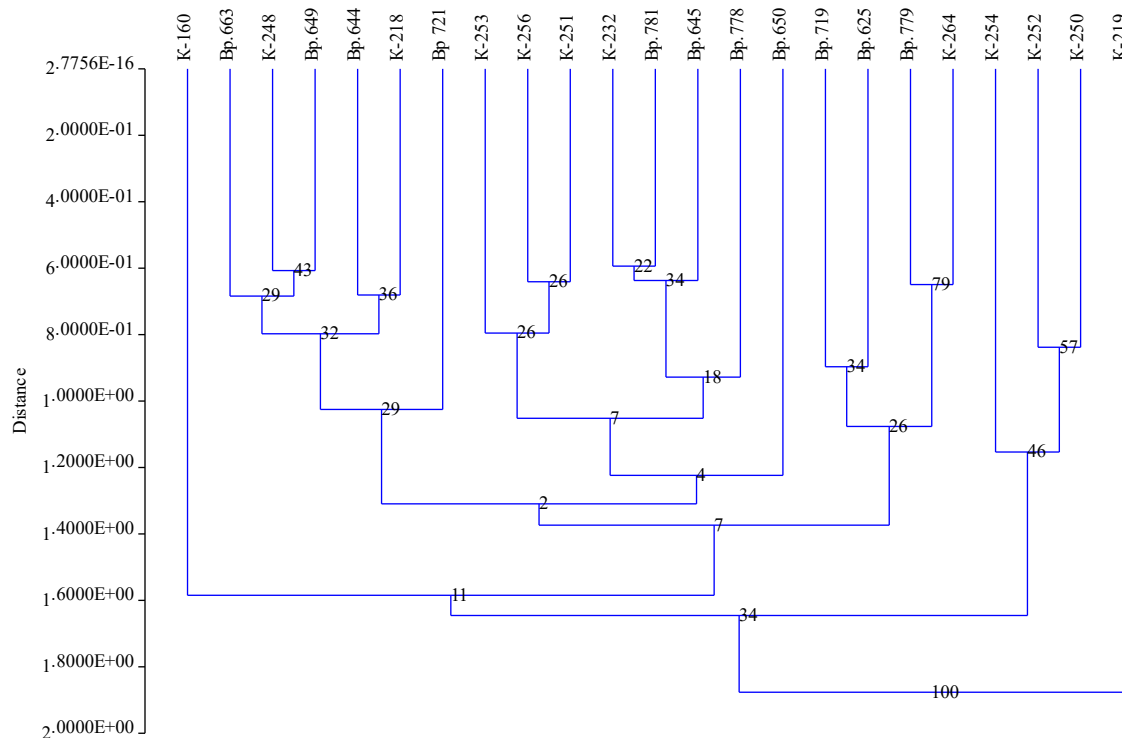


Рис. 1. Дендрограма кластерного аналізу зразків амаранту за сукупністю показників адаптивного потенціалу елементів продуктивності

Кластерний аналіз колекції зразків амаранту, проведений за сукупністю показників адаптивного потенціалу елементів продуктивності (довжина волоті, продуктивність волоті, маса 1000 насінин та їх параметри стабільності), дозволив встановити рівень генетичної та фенотипічної подібності між досліджуваними генотипами. Дендрограма демонструє чітку стратифікацію вибірки на декілька ієрархічних груп, що формуються залежно від комплексної реалізації продуктивного та адаптивного потенціалу.

На найменших евклідових відстанях об'єднуються генотипи зі схожими морфометричними параметрами та близькими значеннями показників гомеостатичності й селекційної цінності. Зокрема, тісні кластери формують пари Bp 663 (*A. cruentus*), K-248 (*A. cruentus*), Bp 649 (*A. hybridus*), Bp 644 (*A. hybridus*) та K-218 (*A. hypochondriacus*), а також наприклад K-253 (*A. cruentus*), K-256 (*A. cruentus*) і K-251 (*A. cruentus*), що свідчить про їхню подібність за елементами продуктивності та характером адаптивної реакції на умови вирощування. Подібність цих зразків підтверджується близькими значеннями довжини волоті та маси 1000 насінин.

Окрему групу утворюють зразки з підвищеними показниками продуктивності волоті та високою селекційною цінністю – K-219 (*A. hypochondriacus*), K-250 (*A. cruentus*), K-252 (*A. cruentus*) та K-254 (*A. cruentus*). Їх об'єднання на відносно невеликій

кластерній відстані свідчить про спільний напрям реалізації продуктивного потенціалу. Особливої уваги заслуговує K-219 (*A. hypochondriacus*), який поєднує високу довжину волоті, максимальну продуктивність та високі адаптивні параметри, що зумовлює його відносну відокремленість у межах цього кластера.

Найбільш віддалене положення на дендрограмі займає зразок K-160 (*A. caudatus*), який відокремлюється від основної сукупності на значній кластерній відстані. Це свідчить про його специфічний комплекс ознак, зокрема максимальну довжину волоті та високі показники маси 1000 насінин і адаптивності. Така відокремленість може вказувати на значний генетичний поліморфізм порівняно з іншими зразками колекції.

Висновки

Загалом, результати кластерного аналізу узгоджуються з даними кількісної оцінки елементів продуктивності та підтверджують наявність диференціації досліджуваних генотипів за напрямками реалізації продуктивного потенціалу.

Серед досліджених видів найвищу адаптивність за елементами продуктивності виявив зразок K-219 (*A. hypochondriacus*), який мав максимальну продуктивність волоті (14,5 г), високі показники гомеостатичності та селекційної цінності та зразок

K-160, який представляє вид *A. caudatus*, характеризувався максимальною довжиною волоті (47,0 см), високими показниками маси 1000 насінин і адаптивності. Зразки поєднують високий рівень продуктивності з підвищеними показниками гомеостатичності та селекційної цінності, що визначає їх як найбільш перспективний вихідний матеріал для селекції на продуктивність.

A. cruentus характеризувався високою екологічною пластичністю та стабільністю прояву ознак. Найбільш адаптивним зразком виду визначено Вр 719, у якого маса 1000 насінин 701 мг та високі значення Ном і Sc за масою 1000 насінин

У межах виду *A. hypochondriacus* виділено зразок Вр 625 та K-219. За елементами продуктивності Вр 625 належить до групи генотипів з підвищеною масою 1000 насінин у поєднанні з високими значеннями гомеостатичності (Ном) і селекційної цінності (Sc). Це означає, що зразок не лише формує вищий рівень цієї ознаки порівняно із середнім по колекції, а й зберігає її відносно сталість за різних, у тому числі стресових, умов вирощування як найбільш адаптивний за показниками стабільності та селекційної цінності елементів продуктивності.

Що стосується *A. hybridus*, то у структурі колекції він виконує скоріше функцію джерела адаптивності (стресостійкості), ніж екстремально високої продуктивності, але його зразки інтегруються в кластери з продуктивними генотипами, що робить їх придатними як компоненти для комбінаційної селекції.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі III під час підготовки цього рукопису.

References

- Joshi, D. C., Sood, S., Hosahatti, R., Kant, L., Pattanayak, A., Kumar, A., Yadav, D., & Stetter, M. G. (2018). From zero to hero: the past, present and future of grain amaranth breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 131 (9), 1807–1823. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3138-y>
- Van Dijk, M., Morley, T., Rau, M. L., & Saghai, Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2 (7), 494–501. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00322-9>
- Tibagonzeka, J., Wambete, J., Muyinda, A., Nakimbugwe, D., & Muyonga, J. (2014). Acceptability and nutritional contribution of grain amaranth recipes in Uganda. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 14 (63), 8979–8997. <https://doi.org/10.18697/ajfand.63.13015>
- Macharia-Mutie, C. W., Omusundi, A. M., Mwai, J. M., Mwangi, A. M., & Brouwer, I. D. (2012). Simulation of the effect of maize porridge fortified with grain amaranth or micronutrient powder containing NaFeEDTA on iron intake and status in Kenyan children. *Public Health Nutrition*, 16 (9), 1605–1613. <https://doi.org/10.1017/s1368980012005174>
- Yadav, A., & Yadav, K. (2024). From humble beginnings to nutritional powerhouse: the rise of amaranth as a climate-resilient superfood. *Tropical Plants*, 3 (1), e037. <https://doi.org/10.48130/tp-0024-0037>
- Barba de la Rosa, A. P., Fomsgaard, I. S., Laursen, B., Mortensen, A. G., Olvera-Martínez, L., Silva-Sánchez, C., Mendoza-Herrera, A., González-Castañeda, J., & De León-Rodríguez, A. (2009). Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) as an alternative crop for sustainable food production: Phenolic acids and flavonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *Journal of Cereal Science*, 49 (1), 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.07.012>
- Pulvento, C., Sellami, M. H., & Lavini, A. (2021). Yield and quality of *Amaranthus hypochondriacus* grain amaranth under drought and salinity at various phenological stages in southern Italy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102 (12), 5022–5033. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11088>
- Macías-Naranjo, S. M., Arjona, J. M., Huebra-Montero, L., Rubio-Heras, J., Sánchez-Vicente, I., García-Molina, C. G., Aparicio, N., & Albertos, P. (2026). Amaranth, the ancient pseudocereal: a promising crop for climate-resilient agriculture and healthy diets. *Frontiers in Plant Science*, 17. <https://doi.org/10.3389/fpls.2026.1716624>
- Hoptsi, T. I., Voronkov, M. F., Bobro, M. A., Miroshnychenko, L. O., Lymanska, S. V., Hudym, O. V., Hudkovska, N. B., & Duda, Yu. V. (2018). *Amarant: selektsiia, henetyka ta perspektyvy vyroshchuvannia: monohrafiia* [Amaranth: breeding, genetics and prospects of cultivation: monograph]. Kharkiv National Agrarian University [in Ukrainian]
- Hoptsi, T. I. (1999). *Amarant: biolohiia, vyroshchuvannia, perspektyvy vykorystannia, selektsiia: monohrafiia* [Amaranth: biology, cultivation, prospects of use, breeding: monograph]. Kharkiv National Agrarian University [in Ukrainian]
- Yadav, R., Rana, J. C., & Ranjan, J. K. (2014). Analysis of variability parameters for morphological and agronomic traits in grain amaranth (*Amaranthus* sp.) genotypes. *The Bioscan*, 9 (4), 1661–1665.
- Stetter, M. G., & Schmid, K. J. (2017). Analysis of phylogenetic relationships and genome size evolution of the *Amaranthus* genus using GBS indicates the ancestors of an ancient crop. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 109, 80–92. <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2016.12.029>
- Waselkov, K. E., Boleda, A. S., & Olsen, K. M. (2018). A phylogeny of the genus *Amaranthus* (Amaranthaceae) based on several low-copy nuclear loci and chloroplast regions. *Systematic Botany*, 43 (2), 439–458. <https://doi.org/10.1600/036364418x697193>
- Peter, K., & Gandhi, P. (2017). Rediscovering the therapeutic potential of *Amaranthus* species: A review. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3), 196–205. <https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2017.05.001>
- Wu, H., Sun, M., Yue, S., Sun, H., Cai, Y., Huang, R., Brenner, D., & Corke, H. (2000). Field evaluation of an *Amaranthus* genetic resource collection in China. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 47 (1), 43–53. <https://doi.org/10.1023/a:1008771103826>
- Stetter, M. G., Vidal-Villarejo, M., & Schmid, K. J. (2019). Parallel seed color adaptation during multiple domestication attempts of an ancient new world grain. *Molecular Biology and Evolution*, 37 (5), 1407–1419. <https://doi.org/10.1093/molbev/msz304>
- Oteri, M., Gresta, F., Costale, A., Lo Presti, V., Meineri, G., & Chiofalo, B. (2021). *Amaranthus hypochondriacus* L. as a sustainable source of nutrients and bioactive compounds for animal feeding. *Antioxidants*, 10 (6), 876. <https://doi.org/10.3390/antiox10060876>
- Kanbar, A., Beisel, J., Gutierrez, M. T., Graeff-Hönninger, S., & Nick, P. (2023). Peruvian *Amaranth* (kiwicha) accumulates higher levels of the unsaturated linoleic acid. *International Journal of Molecular Sciences*, 24 (7), 6215. <https://doi.org/10.3390/ijms24076215>

19. Hoptsi, T. I., Voronkov, M. F., & Zhuravel, D. V. (2012). Seleksiina tsinnist zrazkiv amarantu hibrydnoho (*Amaranthus hybridus* L.) [Breeding value of hybrid amaranth (*Amaranthus hybridus* L.) samples]. *Henetychni Resursy Roslyn*, 10, 201–206. [in Ukrainian]
20. Trucco, F., Hager, A. G., & Tranel, P. J. (2006). Acetolactate synthase mutation conferring imidazolinone-specific herbicide resistance in *Amaranthus hybridus*. *Journal of Plant Physiology*, 163 (4), 475–479. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2005.06.015>
21. Anuradha, Kumari, M., Zinta, G., Chauhan, R., Kumar, A., Singh, S., & Singh, S. (2023). Genetic resources and breeding approaches for improvement of amaranth (*Amaranthus* spp.) and quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1129723. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1129723>
22. Stetter, M. G., Joshi, D. C., & Singh, A. (2025). Assessing and mining grain amaranth diversity for sustainable cropping systems. *Theoretical and Applied Genetics*, 138 (7), 171. <https://doi.org/10.1007/s00122-025-04940-w>
23. Thapa, R., Edwards, M., & Blair, M. W. (2021). Relationship of cultivated grain *Amaranth* species and wild relative accessions. *Genes*, 12 (12), 1849. <https://doi.org/10.3390/genes12121849>
24. Hoshikawa, K., Lin, Y.-P., Schafleitner, R., Shirasawa, K., Isobe, S., Nguyen, D. C., Ohsawa, R., & Yoshioka, Y. (2023). Genetic diversity analysis and core collection construction for *Amaranthus tricolor* germplasm based on genome-wide single-nucleotide polymorphisms. *Scientia Horticulturae*, 307, 111428. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111428>
25. Kreiner, J. M., Caballero, A., Wright, S. I., & Stinchcombe, J. R. (2021). Selective ancestral sorting and de novo evolution in the agricultural invasion of *Amaranthus tuberculatus*. *Evolution*, 76 (1), 70–85. <https://doi.org/10.1111/evo.14404>
26. Trucco, F., & Tranel, P. J. (2011). *Amaranthus*. *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources*, 11–21. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20450-0_2
27. Boro, J., Kumar, U., & Yadav, H. K. (2024). Phenotypic characterization of core accessions of grain amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 71 (8), 4793–4806. <https://doi.org/10.1007/s10722-024-01938-z>
28. Baturaygil, A., & Schmid, K. (2022). Characterization of flowering time in genebank accessions of grain amaranths and their wild relatives reveals signatures of domestication and local adaptation. *Agronomy*, 12 (2), 505. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020505>
29. Volkodav, V. V. (Ed.). (2000). *Metodyka derzhavnoho sortovyprovuvannia silskohospodarskykh kultur. Vyp. 1. Zahalna chastyna* [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Issue 1. General part]. Derzhavna komisiiia Ukrainy po vyprovuvaniu ta okhoroni sortiv roslyn [in Ukrainian]
30. Nascimento, M., Teodoro, P. E., Sant'Anna, I. D. C., Barroso, L. M. A., Nascimento, A. C. C., Azevedo, C. F., Teodoro, L. P. R., Farias, F. J. C., Almeida, H. C., & de Carvalho, L. P. (2021). Influential points in adaptability and stability methods based on regression models in cotton genotypes. *Agronomy*, 11 (11), 2179. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112179>
31. Hammer, Ø., Harper, D. A. T., & Ryan, P. D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4 (1), 4. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf

ORCID

- T. Hoptsi  <https://orcid.org/0000-0003-0288-7592>
V. Antonenko  <https://orcid.org/0009-0009-8421-683X>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Yield of field pea varieties for grain and vegetable use depending on seed inoculation

N. Shokalo | M. Kulyk | I. Rozhko | V. Demianchenko

Article info

Correspondence Author

I. Rozhko

E-mail:

ilona.rozhko1@ukr.net

Poltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3,
Poltava, 36000, Ukraine

Citation: Shokalo, N., Kulyk, M., Rozhko, I., & Demianchenko, V. (2026). Yield of field pea varieties for grain and vegetable use depending on seed inoculation. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 74–80. doi: 10.31210/spi2026.29.01.12

The research focused on increasing plant protein yield through organic farming methods in legume cultivation is highly relevant to strengthening Ukraine's food security. Among the legumes considered as a source of protein, field pea (*Pisum sativum* L.) for grain and vegetable use occupies an important place in the structure of the area under crops. The optimization and bipolarization of pea cultivation technologies aim to increase yields through variety selection and cultivation technology, which determine the relevance of the chosen research topic. The research aims to determine the yield of field peas for various uses, depending on variety and to improve cultivation technology through the application of inoculants. Registered varieties of peas intended for grain production – Album, Haiduk and Stabil as well as vegetable pea varieties Omeha, Lipton and Leia were used in the research. Research results showed that grain-type pea varieties provide significantly higher grain yields, ranging from 2.8 to 3.7 t/ha, with an increase over control of 0.14–0.37 t/ha, compared to vegetable-type peas which produced 1.8–3.1 t/ha, where the increase over the control ranged from 0.18 to 0.33 t/ha. However, it was determined that field pea varieties formed significantly higher yields under the conditions of 2025: for grain-type peas (2.85–3.86 t/ha), for vegetable-type peas (2.51–3.24 t/ha), compared to 2024 (grain-type: 2.52–3.51 t/ha, vegetable-type: 2.12–3.03 t/ha), which was characterized by arid conditions during the spring–summer period. On average over the research period, the variety Haiduk proved to be the most productive among the grain-type pea varieties (3.69 t/ha); when treated with the BiNitro inoculant, the yield increased by 0.37 t/ha. Among vegetable pea varieties, Lipton showed the highest yield (3.14 t/ha), with an increase of 0.18 t/ha when treated with the Rizoaktiv legumes inoculant. It was established that, among the factors studied, weather conditions of the research years had the greatest influence on the yield of pea varieties (39.0–49.0 %). Varietal characteristics (18.0–20.0 %) and seed inoculation (14.0–16.0 %) also had a significant influence as well as their interaction (2.0–12.0 %). The research results indicate that the highest yields among grain-type pea varieties were obtained with the BiNitro inoculant: Haiduk (3.69 t/ha), Stabil (3.31 t/ha), and Album (2.84 t/ha). Vegetable pea varieties significantly increased grain yield when Rizoaktiv legumes inoculant was applied, particularly Lipton (3.14 t/ha), Omega (2.60 t/ha) and Leia (1.81 t/ha).

Keywords: field peas, use, variety, growing conditions, inoculant, yield increase, yield.

Урожайність сортів гороху посівного зернового та овочевого напрямку використання залежно від застосування інокуляції насіння

Н. С. Шокало | М. І. Кулик | І. І. Рожко | В. С. Дем'яненко

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

У контексті посилення продовольчої безпеки України дослідження, що спрямовані на збільшення обсягів отримання рослинного білка при біологізації агротехнології вирощування бобових культур, набувають особливої актуальності. 3-поміж бобових культур, які розглядаються як ресурс для виробництва білка, горох посівний (*Pisum sativum* L.) зернового та овочевого напрямку використання займає важливе місце у структурі посівних площ сільськогосподарських культур. Оптимізація та біологізація агротехнології вирощування гороху спрямовані на збільшення врожайності залежно від підбору сортів та елементів технології вирощування культури, що обумовило актуальність обраної теми дослідження. Мета дослідження – визначити урожайність гороху посівного різного напрямку використання залежно від сорту, удосконалити технології його вирощування за застосування інокулянтів. Дослідження проводили у 2024–2025 рр. на опідзолених чорноземах у ґрунтово-кліматичних умовах Полтавського регіону. Матеріалом для дослідження були зареєстровані сорти гороху посівного зернового напрямку використання: Альбум, Гайдук і Стабіль, а також сорти гороху овочевого: Омеха, Ліптон і Лея. За результатами досліджень встановлено, що сорти гороху зернового напрямку використання забезпечують суттєво вищу врожайність зерна у межах 2,8–3,7 т/га з приростом до контролю 0,14–0,37 т/га, порівняно з овочевим 1,8–3,1 т/га, приріст до контролю був у межах – від 0,18 до 0,33 т/га. Водночас, визначено, що істотно більшу врожайність сорти гороху посівного формують в умовах 2025 року: для зернового (2,85–3,86 т/га), для овочевого (2,51–3,24 т/га), порівняно з 2024 роком (зерновий: 2,52–3,51 т/га, овочевий: 2,12–3,03 т/га), який у весняно-літній періоді відзначався посушливими умовами. У середньому за роки дослідження 3-поміж сортів гороху зернового найбільш урожайним був сорт Гайдук (3,69 т/га), з приростом врожаю 0,37 т/га на варіантах із застосуванням інокулянта BiNitro, а овочевого – сорт Ліптон (3,14 т/га, прибавка 0,18 т/га) при застосуванні для інокуляції препарату Ризоактив бобові. 3-поміж досліджуваних чинників найбільший вплив на врожайність сортів гороху мають погодні умови років дослідження (39,0–49,0 %), істотний вплив також мають: сортові властивості культури (18,0–20,0 %) та інокуляція насіння (14,0–16,0 %), а також їх взаємодія (2,0–12,0 %). Встановлено, що найбільшу врожайність забезпечують сорти гороху зернового напрямку використання під час застосування інокулянта BiNitro: Гайдук (3,69 т/га), Стабіль (3,31 т/га) та Альбум (2,84 т/га). Сорти гороху овочевого істотно збільшують врожайність зерна під час застосування для інокуляції препарату Ризоактив бобові: Ліптон (3,14 т/га), Омеха (2,60 т/га) та Лея (1,81 т/га).

Ключові слова: горох посівний, напрями використання, сорт, умови вирощування, інокулянти, прибавка врожаю, урожайність.



Бібліографічний опис для цитування: Шокало Н. С., Кулик М. І., Рожко І. І., Дем'яненко В. С. Урожайність сортів гороху посівного зернового та овочевого напрямку використання залежно від застосування інокуляції насіння. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 74–80.

Вступ

На сьогодні сталому розвитку світового сільського господарства сприяють зернові бобові культури. Серед них горох займає найбільші посівні площі – близько 5 млн. га. Це майже 30 % від світової площі, де вирощують дану культуру. У зерні гороху міститься від 16 до 36 % білка, близько 54 % вуглеводів, 1,6 % жиру і більше 3 % зольних речовин, що зумовлює цінні продовольчі і кормові якості цієї культури [1].

Науково доведено, що білок зерна гороху повноцінний за амінокислотним складом, а засвоєння його відбувається у 1,5 рази краще, ніж білок пшениці. Зокрема, в зерні гороху міститься 4,66 % лізину, 11,4 % аргініну, 1,17 % триптофану від сумарної кількості білка, у той час як білок пшениці містить у своєму складі тільки 2,32 % лізину та 3,56 % аргініну [2, 3]. Через це горох у усьому світі визнано як недороге і доступне джерело протеїну, складних вуглеводів, вітамінів і мінералів. За рахунок високої поживності його вважають цінним продуктом харчування, що здатний забезпечити харчові потреби близько 800–900 млн. людей в усьому світі [4, 5].

До початку повномасштабного вторгнення росії наша країна за обсягом виробництва гороху на світовій мапі стояла поряд з країнами-лідерами: Канадою, Китаєм, Індією, Казахстаном, Австралією. Внаслідок загарбницьких дій країни-агресора припинили вирощувати горох на полях Донецької, Луганської, Запорізької, Херсонської областей. Значно зменшилося виробництво гороху через бойові дії на Миколаївщині і Харківщині. Війна створила гострий дефіцит ресурсного потенціалу в Україні. Крім того, недобір сирого протеїну виник через зниження родючості ґрунтів, пов'язане з нераціональною їх експлуатацією, недотриманням науково-обґрунтованої сівозміни, системи удобрення і захисту [6].

Ряд авторів вважає [7–10], що ефективність вирощування гороху знижується також і через порушення технологічних вимог під час догляду за культурою та повільне впровадження у виробництво нових високоврожайних сортів. Сучасні сорти здатні давати від 5,0 до 6,0 т/га зерна. Проте такий результат можливий лише за умови суворого дотримання технологій вирощування.

Разом із цим, дослідники відмічають часту втрату генетичного потенціалу гороху через застарілу матеріально-технічну базу, відсутність конкретних рекомендацій щодо технології вирощування нових сортів [11–14].

Тривалий процес окультурення та інтенсивна селекція гороху посівного призвели до трансформації метаболізму культури. Зокрема, відбулися зміни в системі азотного живлення рослин. У сучасних сортів частка симбіотрофної азотфіксації знизилася. Натомість домінуючим став автотрофний тип живлення, що передбачає активне поглинання мінеральних форм азоту з ґрунту.

Причина в тому, що селекція нових високопродуктивних сортів проводилася переважно в умовах достатнього або надмірного забезпечення ґрунту азотом. Регуляція вмісту доступного азоту в

ґрунті формує співвідношення між типами азотного живлення в ньому. За надлишкового вмісту доступного азоту утворення бульбочкових бактерій, а отже, і симбіотична фіксація в агроценозі пригнічується. Тому внесення азотних добрив у ґрунт під час вирощування бобових культур вважають економічно не вигідним.

Окрім того, застосування мінеральних добрив, особливо у високих дозах, спричиняє активізацію діяльності ґрунтової мікрофлори, яка мінералізує органічну речовину та зменшує вміст гумусу в ґрунті. Реалізувати потенціал продуктивності сучасних сортів гороху можливо тільки високоякісним посівним матеріалом [15, 16]. Підвищити посівні якості насіння можна шляхом застосування різних технологічних прийомів, таких як протруєння, обробка насіннєвого матеріалу біологічно активними препаратами, захисними і ріст-стимулюючими речовинами та рідкими комплексними добривами [17, 18].

Предметом наукових досліджень останніми роками є комплексні мікробіологічні препарати нового покоління. Вони характеризуються високою біологічною активністю за рахунок наявності в них асоціативних або симбіотичних азотфіксаторів. Крім мікробних клітин, до їхнього складу входять фізіологічно активні речовини бактеріального походження, завдяки чому спектр їхнього позитивного впливу на культурні рослини суттєво розширюється [19].

За аналізом літературних джерел відомо [20–22], що для оптимізації умов функціонування симбіозу слід поєднувати під час інокуляції насіння ризобії азотфіксуючих бактерій та ризобії штамів мікроорганізмів, які мають здатність до фосфатомобілізації. Мікробні препарати, які покращують азотне і фосфорне живлення рослин, є безпечними для навколишнього середовища, мають позитивний вплив на рослини і є одними зі складових сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур.

Також, загальновідомо, що початкова взаємодія між мікроорганізмами та рослиною під час формування симбіотичних зв'язків розпочинається вже на етапі проростання насіння бобових культур. У цей період насіння інтенсивно виділяє у ґрунтове середовище біологічно активні сполуки, які можуть впливати на властивості бульбочкових бактерій: стимулювати їхній ріст та активність, а також визначати здатність специфічних штамів ризобій утворювати симбіоз із рослиною. Бульбочкові бактерії, своєю чергою, виступають ініціаторами утворення на коренях бобових культур спеціалізованих структур – бульбочок. Після їх формування між рослиною та мікроорганізмами встановлюються симбіотичні зв'язки. Бактерії фіксують атмосферний азот і передають його рослині, а вона забезпечує їх необхідними поживними речовинами [23, 24].

Застосування біопрепаратів, що активують симбіотичну азотфіксацію у гороху, є ефективним засобом поліпшення умов живлення та розвитку рослин. Особливо важливо, що внесення таких препаратів під час передпосівної обробки сприяє активізації синтезу органічних речовин у процесі формування симбіотичного апарату в коренях, що, у свою чергу,

підвищує енергію проростання й схожість насіння, зміцнює стійкість рослин до стресових чинників та забезпечує приріст урожайності й покращення його якості. Важливо також враховувати позитивний вплив бактеризації на родючість ґрунтів і екологічний стан агроєкосистеми, оскільки біологічно фіксований азот частково замінює потребу в мінеральних азотних добривах [25–28].

Мета дослідження

Мета дослідження – визначити урожайність гороху посівного різного напрямку використання залежно від сорту, удосконалити технології його вирощування під час застосування інокулянтів.

Для досягнення поставленої мети були сформульовані такі завдання:

1. Визначити вплив інокуляції насіння та умов року на врожайність гороху посівного зернового та овочевого напрямку використання;
2. Встановити сортову реакцію гороху посівного зернового та овочевого напрямку використання на застосування інокуляції;
3. Визначити частки впливу досліджуваних факторів на врожайність гороху зернового та овочевого напрямку використання.

Матеріали і методи

Дослід проводився в польових умовах впродовж 2024–2025 рр. Експеримент закладено й проведено в умовах агрогосподарства, що територіально розташована у ґрунтово-кліматичних умовах зони центрального Лісостепу країни на чорноземах типових опідзолених.

Загальна площа ділянки становила 25 м², облікової – 20 м². Дослід закладався із чотириразовою повторюваністю: в кожному повторенні варіанти досліду розміщувалися рендомізованим методом.

Матеріалом для дослідження були зареєстровані сорти гороху посівного зернового напрямку використання: Албум, Гайдук і Стабіль, а також сорти гороху овочевого: Омега, Ліптон і Лея.

У дослідженні застосовували інокулянти: варіант 1 – без інокулянту (контроль); варіант 2 – BiNitro; варіант 3 – Нітрофікс горох; варіант 4 – Ризоактив бобові.

Закладку дослідних ділянок та проведення польових експериментів здійснено відповідно до методики дослідної справи в агрономії [29–30]. Застосовано схеми багатофакторного експерименту з урахуванням рекомендацій щодо вирощування бобових культур та відповідні методики [31].

Отримані результати аналізували на персональному комп'ютері за допомогою методів математичної статистики з визначенням НІР₀₅ за рівня значущості 5 %.

Результати та їх обговорення

Роки проведення досліджень характеризувалися контрастними погодними умовами періоду вегетації

гороху посівного за кількістю опадів та середньодобовими температурами повітря (рис. 1 та рис. 2).

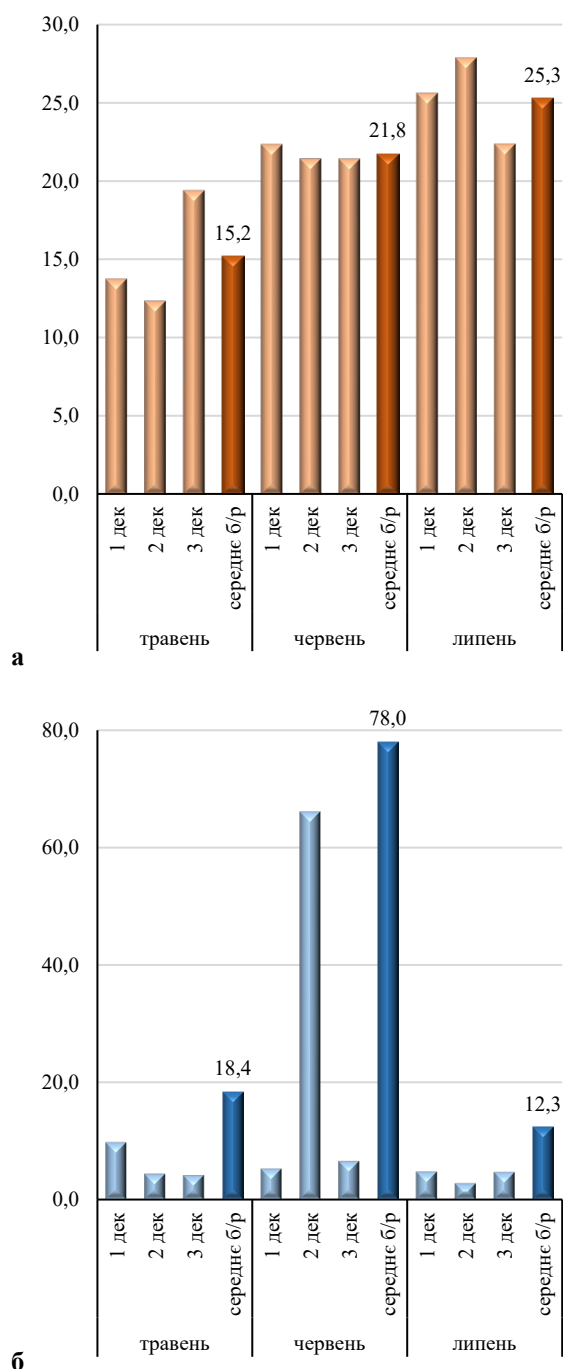


Рис. 1. Погодні умови періоду вегетації гороху посівного: а – температура повітря (°C), б – кількість опадів (мм), 2024 р.

Протягом вегетаційного періоду гороху в умовах 2024 року відмічено посушливі умови весняного періоду на фоні зростання середньодобових температур повітря. Водночас зимові запаси вологи в ґрунті сприяли проростанню насіння та отриманню добрих сходів, а незначна кількість опадів травня – прискорила ріст й розвиток рослин гороху. У другій декаді червня відмічено 64,0 мм опадів на фоні температур повітря, що відповідали середньобаторічним значенням.

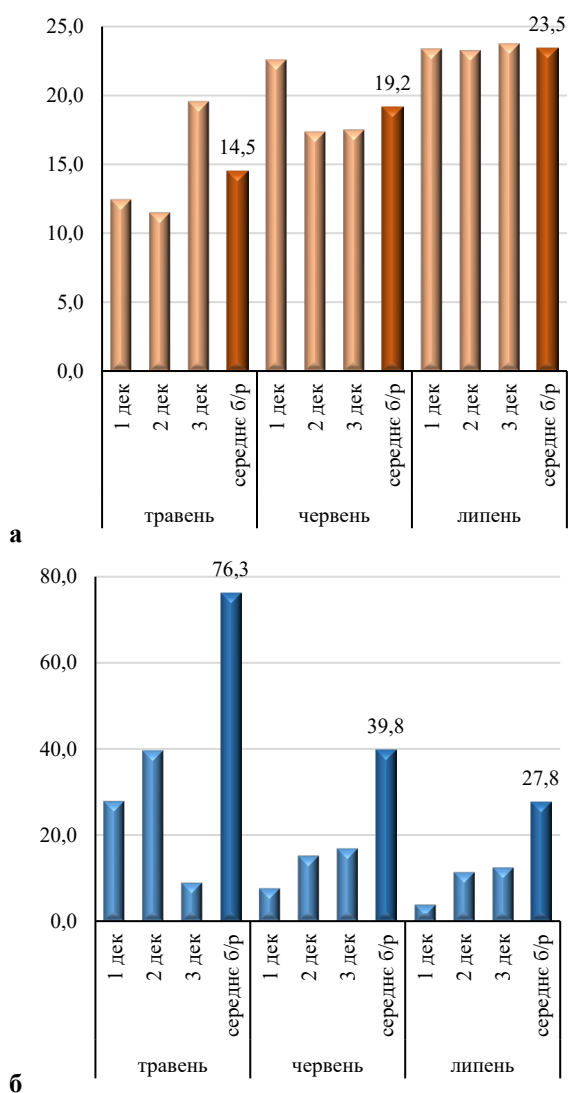


Рис. 2. Погодні умови періоду вегетації гороху посівного: а – температура повітря (°C), б – кількість опадів (мм), 2025 р.

Таблиця 1

Урожайність зерна гороху посівного зернового напрямку використання залежно від інокулянтів, 2024–2025 рр.

Сорт	Інокулянти*	Рік		Середнє заложи	+ / – до контролю
		2024	2025		
Албум	варіант 1	2,52	2,85	2,69	–
	варіант 2	2,65	3,01	2,83	0,14
	варіант 3	2,61	2,96	2,79	0,10
	варіант 4	2,59	2,88	2,74	0,04
Гайдук	варіант 1	3,21	3,42	3,32	–
	варіант 2	3,51	3,86	3,69	0,37
	варіант 3	3,47	3,77	3,62	0,30
	варіант 4	3,35	3,67	3,51	0,19
Стабіль	варіант 1	2,84	3,22	3,03	–
	варіант 2	3,12	3,50	3,31	0,28
	варіант 3	3,03	3,46	3,25	0,22
	варіант 4	2,94	3,38	3,16	0,13
Середнє		2,99	3,33	3,16	0,15
НІР ₀₅ (рік)		–	–	0,021	–
НІР ₀₅ (сорт)		0,091	0,106	–	–
НІР ₀₅ (біопрепарат)		0,079	0,152	–	–

Примітки: * – варіант 1 – без інокулянта (контроль); варіант 2 – BiNitro; варіант 3 – Нітрофікс горох; варіант 4 – Ризоактив бобові.

Погодні умови 2025 року були більш сприятливими для проростання насіння та вегетації рослин гороху на початкових етапах органогенезу: на фоні тренду зростання температури повітря відмічені в першій та другій декадах ефективні опади сприяли цьому.

За два роки досліджень сума опадів протягом періоду вегетації гороху була нижчою за середньобогаторічну, значні відхилення спостерігалися і за температурою повітря. Літо було посушливим, з незначною кількістю опадів та температурою повітря, що відповідали середньобогаторічним значенням або були вищими за цей показник.

Таким чином, погодні умови під час вегетації гороху зернового та овочевого напрямку використання дозволили оцінити реакцію сортів на умови вирощування та ефективність застосування інокуляції насіння.

За результатами досліджень встановлено, що у розрізі років та варіантів дослідження урожайність зерна сортів гороху зернового залежала від сорту, умов року та варіантів дослідження й варіювала у межах – від 2,52 до 3,86 т/га, а овочевого – від 1,20 до 3,24 т/га (табл. 1 та табл. 2).

Визначено, що найбільший приріст врожаю гороху зернового забезпечується на варіантах застосування інокулянту BiNitro, відповідно, сортів: Албум + 0,14 т/га, Гайдук + 0,37 т/га та Стабіль + 0,28 т/га. Застосування препарату «Нітрофікс горох» також сприяло збільшенню врожайності, але із меншими показниками за досліджуваними сортами – від 0,10 до 0,30 т/га. Менш ефективним було застосування «Ризоактив бобові» – приріст врожаю становила від 0,04 до 0,19 т/га.

При визначенні впливу інокулянтів на врожайність гороху посівного овочевого напрямку використання було встановлено значне варіювання даного показника в розрізі варіантів – від 1,20 до 3,03 т/га для посушливих умов 2024 року, та – від 1,82 до 3,24 т/га для 2025 року (табл. 2).

Таблиця 2

Урожайність зерна гороху посівного овочевого напрямку використання залежно від інокулянтів, 2024–2025 рр.

Сорт	Інокулянти*	Рік		Середнє зарок	+ / – до контролю
		2024	2025		
Омега	варіант 1	2,12	2,51	2,32	–
	варіант 2	2,21	2,70	2,46	0,14
	варіант 3	2,24	2,76	2,50	0,18
	варіант 4	2,35	2,84	2,60	0,28
Ліптон	варіант 1	2,84	3,08	2,96	–
	варіант 2	2,91	3,15	3,03	0,07
	варіант 3	2,95	3,18	3,07	0,11
	варіант 4	3,03	3,24	3,14	0,18
Лея	варіант 1	1,20	1,82	1,51	–
	варіант 2	1,25	2,18	1,72	0,21
	варіант 3	1,30	2,21	1,76	0,25
	варіант 4	1,37	2,30	1,84	0,33
Середнє		2,15	2,66	2,41	0,19
НІР ₀₅ (рік)		–	–	0,011	–
НІР ₀₅ (сорт)		0,072	0,120	–	–
НІР ₀₅ (біопрепарат)		0,052	0,031	–	–

Примітки: * – варіант 1 – без інокулянта (контроль); варіант 2 – BiNitro; варіант 3 – Нітрофікс горох; варіант 4 – Ризоактив бобові.

Встановлено, що найбільший приріст врожаю порівняно з контролем горох овочевий формує на варіантах застосування інокулянта «Ризоактив бобові» відповідно сортів: Омега +0,28 т/га, Ліптон +0,18 т/га та Лея +0,33 т/га. Інші варіанти забезпечили суттєво нижчий приріст врожаю: в межах – від 0,07 до 0,25 т/га.

В умовах 2025 року встановлено суттєве збільшення врожайності зерна від умов року, а для більш посушливого 2024 року вагомим було посилення впливу сорту, застосування біопрепаратів незалежно від виду гороху посівного.

У середньому за два роки дослідження визначено рівень врожайності гороху посівного різного напрямку використання (рис. 3).

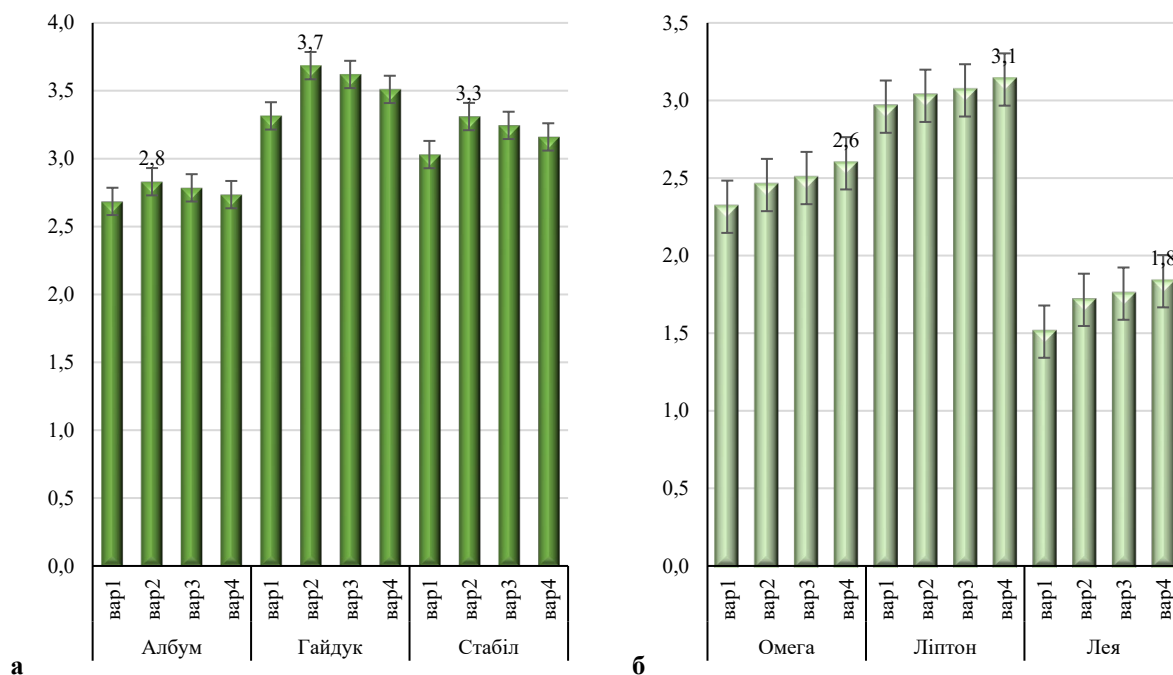


Рис. 3. Урожайність зерна гороху посівного: а – зернового та б – овочевого напрямку використання, середнє за 2024–2025 рр.

Таким чином, сорти гороху зернового напрямку використання забезпечують суттєво вищу врожайність зерна протягом років дослідження (2,8–3,7 т/га) порівняно з овочевим (1,8–3,1 т/га), що підтверджується і показниками виходу чистого зерна на рівні або більше 50,0 %.

За встановлення частки впливу досліджуваних факторів на врожайність зерна гороху посівного визначено посилення ролі сорту та інокуляції насіння як для зернового, так і овочевого гороху, а також їх взаємодії на фоні вагомого впливу погодних умов досліджуваних років (рис. 4).

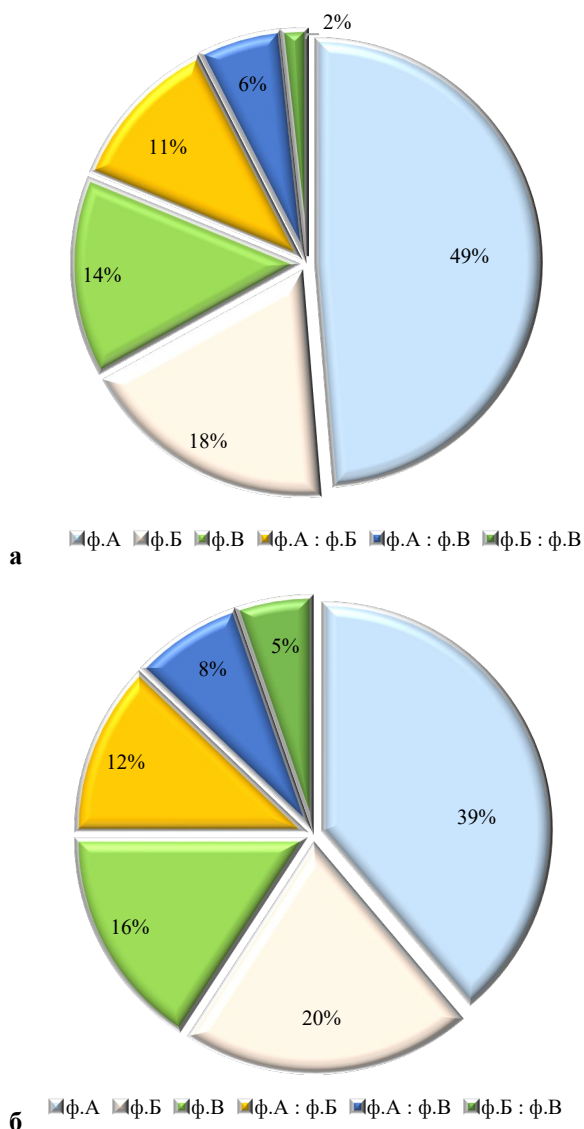


Рис. 4. Частки впливу факторів на врожайність зерна гороху посівного: а – зернового, б – овочевого, 2024–2025 рр.

Примітка: Ф.А – фактор року; Ф.Б – фактор сорту, Ф.В – фактор інокулянт.

Для досліджуваних сортів гороху: зернового й овочевого напрямів використання визначальним фактором, що обумовлював їх урожайність були погодні умови років дослідження, відповідно 49,0 та 39,0 %, суттєво на рівень продуктивності впливали також: сортові властивості (відповідно 18,0 % і 20,0 %) та інокуляція насіння (відповідно 14,0 % і 16,0 %), а також їх взаємодія (відповідно 2,0–11,0 % і 5,0–12,0 %).

На підставі отриманих результатів обґрунтовано, що застосування інокулянтів істотно підвищує врожайність сортів зернового гороху, вони ж мають суттєвий вплив на збільшення врожаю овочевого гороху, що дозволяє частково нівелювати негативний вплив погодних умов весняно-літньої вегетації культури. Отримані результати мають практичне значення для посилення продовольчої безпеки України за виробництва достатньої кількості рослинного білка із бобових культур.

Висновки

1. Встановлено, що сорти гороху зернового напрямку використання забезпечують суттєво вищу врожайність зерна у межах 2,8–3,7 т/га, порівняно з овочевим 1,8–3,1 т/га.

2. Визначено, що істотне зростання врожайності зерна притаманне сортам гороху зернового напрямку використання під час застосування інокулянта BiNitro: Гайдук (3,69 т/га), Стабіль (3,31 т/га) та Адбум (2,84 т/га). Сорти гороху овочевого суттєво збільшують врожайність зерна порівняно з контролем на 0,18–0,32 т/га під час застосування інокулянта Ризоактив бобові: Ліптон (3,14 т/га), Омега (2,60 т/га) та Лея (1,81 т/га).

3. Обґрунтовано, що з-поміж досліджуваних чинників найбільший вплив на врожайність сортів гороху мають погодні умови років дослідження (39,0–49,0 %), істотний вплив також мають: сортові властивості культури (18,0–20,0 %) та інокуляція насіння (14,0–16,0 %), а також їх взаємодія (2,0–12,0 %).

Перспективи подальших досліджень будуть спрямовані на поглиблене вивчення сумісного поєднання впливу інокуляції насіння та застосування біопрепаратів на посівах сортів гороху зернового та овочевого в плані мінливості біометричних показників рослин та врожайності зерна.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі III під час підготовки цього рукопису.

References

1. Nebaba, K. S. (2022). *Horokh posivnyi: ahrotekhnichniy kompleks vyroshchuvannya. Monohrafiia* [Field peas: agrotechnical complex of cultivation. Monograph]. Kamianets-Podilskyi: TOV «Drukarnia «Ruta»» [in Ukrainian]
2. Didur, I. M., & Zakharchuk, V. V. (2016). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya na vrozhaeni pokaznyky zerna horokhu [Influence of elements of cultivation technology on yield indicators of pea grain]. *Sil'ske Hospodarstvo ta Lisivnytstvo*, 4, 55–61. [in Ukrainian]
3. Moisiienko, V., Karpysyn, O., & Bolshoi, O. (2025). Formation of the yield of afila pea using organic farming technology in Forest-Steppe conditions. *Agriculture and Forestry*, 3 (38), 55. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-3-5>

4. Averchev, O. V., Nikitenko, M. P., Kolomiets, M. R., & Linnyk, M. P. (2024). Current status and prospects of pea cultivation in conditions of global climate change. *Taurian Scientific Herald*, 140, 3–12. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.140.1>
5. Didur, I. M., Tkachuk, O. P., Tsyhanskyi, V. I., & Tsyhanska, O. I. (2025). *Ahrobiolohichne obhruntuvannya biolohizovanykh system zhyvlenia soi ta horokhu* [Agrobiological substantiation of biological systems of soybean and pea nutrition]. Monograph. Vinnytsia [in Ukrainian]
6. Dukhnytskyi, B. (2023). Vegetable market at the present stage: new challenges. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic Sciences*, 322 (5), 134–139. <https://doi.org/10.31891/2307-5740-2023-322-5-22>
7. Burykina, S. I., & Serhieiev, L. A. (2023). Mineral fertilizers as a factor in increasing the yield of winter-sowing peas. *Agrarian Innovations*, 19, 12–18. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.19.2>
8. Lemishko, S. M., & Kulyk, A. O. (2022). Peas grain production in the Steppe zone of Ukraine and increasing efficiency by the application of biological products. *The Scientific Journal Grain Crops*, 5 (2), 310–320. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0190>
9. Hlubokyi, A., Avramenko, S., & Popov, S. (2021). Productivity formation of pea varieties depending on growing conditions in the eastern forest-steppe of Ukraine. *Plant Genetic Resources*, 29, 113–122. <https://doi.org/10.36814/pgr.2021.29.11>
10. Lykhochvor, V. V., & Andrushko, M. O. (2020). Pea productivity depending on variety and sowing rate. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 106 (2), 54–62. [https://doi.org/10.31521/2313-092x/2020-2\(106\)-6](https://doi.org/10.31521/2313-092x/2020-2(106)-6)
11. Hamaiunova, V. V., & Tuz, M. S. (2016). Vplyv elementiv tekhnolohii vyroshchuvannya na produktyvnist sortiv horokhu v Pivdennomu Stepu [Influence of cultivation technology elements on the productivity of pea varieties in the Southern Steppe]. *Zbirnyk Naukovykh Prats Nnts «Instytut Zemlerobstva NAAN»*, 1, 46–57. [in Ukrainian]
12. Popov, S. I., Hlubokyi, O. M., Hutianskyi, R. A., Avramenko, S. V., Skydan, V. O., Kuzmenko, N. V., Sheliakin, V. O., & Zhyzhka, N. G. (2025). *Adaptyvna tekhnolohiia vyroshchuvannya horokhu na osnovi udoskonalennia systemy udobrennia z elementamy biolohizatsii (naukovo-praktychni rekomendatsii)* [Adaptive technology of pea cultivation based on optimization of the fertilizer system with elements of biologization (scientific and practical recommendations)]. Institute of Plant Production named after V.Ya. Yuriev of NAAS. [in Ukrainian]
13. Hyrka, A. D., Sydorenko, Yu. Ya., Iliencko, O. V., & Bochevar, O. V. (2013). Sposoby pidvyshchennia zernovoi produktyvnosti horokhu v pivnichnomu Stepu Ukrainy [Methods of increasing the grain productivity of peas in the northern Steppe of Ukraine]. *Biuletyn Instytutu Silskoho Hospodarstva Stepovoi Zony NAAN Ukrainy*, 5, 58–63. [in Ukrainian]
14. Vuiko, O. M. (2022). Influence of biological products and microfertilizers in formation of yield of pea seeds. *Agrarian Innovations*, 11, 16–24. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.11.2>
15. Volkogon, V. V. (2024). The significance of microorganisms for soil health and optimization of the formation of biocenoses. *Plant Physiology and Genetics*, 56 (1), 3–26. <https://doi.org/10.15407/frg2024.01.003>
16. Hamaiunova, V. V., & Yermolaiev, V. M. (2024). Pea grain yield depending on pre-sowing seed treatment and nutrition optimization in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Agrarian Innovations*, 23, 228–233. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.33>
17. Hamaiunova, V. V., & Yermolaiev, V. M. (2024). Quality of pea grain under the influence of the studied elements of cultivation technology. *Agrarian Innovations*, 26, 15–21. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.26.2>
18. Telecalo, N. (2019). Influence of the complex of technological administrations on the growth of field pea cultivation. *Agriculture and Forestry*, 2 (13), 84–93. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2019-2-8>
19. Kots, S. Ya. (2021). Biological nitrogen fixation: achievements and prospects. *Plant Physiology and Genetics*, 53 (2), 128–159. <https://doi.org/10.15407/frg2021.02.128>
20. Dvoretzka, S. P., Riabokin, T. M., Yefimenko, H. M., & Tylytsia, T. V. (2014). Osoblyvosti formuvannya elementiv produktyvnosti rosllyn horokhu zalezno vid rivnia intensyfikatsii tekhnolohii vyroshchuvannya kultury [Features of formation of pea plant productivity elements depending on the level of intensification of crop cultivation technology]. *Zbirnyk Naukovykh Prats Natsionalnoho Naukovoho Tsentru "Instytut Zemlerobstva NAAN"*, 3, 56–66. [in Ukrainian]
21. Zhuikov, O. H. (2022). Biological method of plant protection in modern organic farming of Ukraine: Historical aspects, trends, prospects. *Agrarian Innovations*, 12, 23–27. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.12.4>
22. Ishchenko, V. A. (2013). Efficiency of rhizohumins and polymyxobacterin application in combination with microfertilizer and growth regulator on leafless pea crops in north steppe. *Agricultural Microbiology*, 17, 89–100. <https://doi.org/10.35868/1997-3004.17.89-100>
23. Burykina, S. I., Welter, M. O., & Kapustina, G. A. (2020). Agronomic efficiency of fertilizers in pea growing under the conditions of climate change of the Black Sea Steppe. *Taurian Scientific Herald*, 114, 33–43. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.114.5>
24. Bunas, A., Tkach, Ye., & Dvoretzky, V. (2024). Biopreparations in Ukraine and in the world: trends and perspectives. *Agroecological Journal*, 4, 132–140. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.4.2024.317163>
25. Sheatula, Y., Vuiko, O., & Shkatula, D. (2025). Effect of pre-sowing seed treatment and foliar fertilization on linear growth of pea plants. *Agriculture and Forestry*, 3 (38), 101–109. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2025-3-9>
26. Hudzenko, O. H., & Izboldin, O. O. (2025). Influence of pre-sowing seed treatment on biometric parameters and grain yield of peas after different predecessors. *Ukrainian Journal of Natural Sciences*, 14, 175–182. <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.14.2025.16>
27. Yeremenko, O. A., & Kapinos, M. V. (2020). The influence of presowing seed treatment on the productivity of varieties of peas in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 113, 41–48. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2020.113.6>
28. Kaminsky, V. F., Sokyрко, D. P., & Gangur, V. V. (2021). The impact of cultivation techniques on pea productivity formation under the conditions of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Taurian Scientific Herald*, 117, 73–79. <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.117.10>
29. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., & Kalenska, S. M. (2016). *Doslidna sprava v ahronomii. Knyha 1. Teoretychni aspekty doslidnoi spravy* [Experimental research in agronomy. Book 1. Theoretical aspects of experimental research]. Maidan [in Ukrainian]
30. Rozhkov, A. O., Puzik, V. K., & Kalenska, S. M. (2016b). *Doslidna sprava v ahronomii. Knyha 2. Statystychna obrobka rezul'tativ doslidzhen* [Experimental research in agronomy. Book 2. Statistical processing of research results]. Maidan [in Ukrainian]
31. Tkachyk, S. O. (Ed.). (2016). *Metodyka provedennia ekspertyzy sortiv rosllyn hrupy zernobobovykh ta krupianykh na vidminnist, odnoridnist i stabilnist* [Methodology for conducting examination of plant varieties of the leguminous and cereal group for distinctness, uniformity and stability] (2nd ed., rev. and suppl.). FOP Korzun D. Yu. [in Ukrainian]

ORCID

- N. Shokalo  <https://orcid.org/0000-0001-7839-8168>
M. Kulyk  <https://orcid.org/0000-0003-0394-5846>
I. Rozhko  <https://orcid.org/0000-0002-0646-4004>
V. Demianchenko  <https://orcid.org/0009-0001-6757-8566>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Spatiotemporal modeling of invasive arthropod spread in urban ecosystems with recreational areas

A. Fokin¹ | L. Bondareva²✉

Article info

Correspondence Author
L. Bondareva
E-mail:
lnubip69@gmail.com

¹ Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 25 Klinichna St., Kyiv, 03110, Ukraine

² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oboronny St., Kyiv, 03041, Ukraine

Citation: Fokin, A., & Bondareva, L. (2026). Spatiotemporal modeling of invasive arthropod spread in urban ecosystems with recreational areas. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 81–86. doi: 10.31210/spi2026.29.01.13

This article examines contemporary approaches to modeling the spread of invasive species in urban ecosystems, considering their spatiotemporal dynamics and the functional heterogeneity of the environment. The relevance of this study stems from the need to enhance the accuracy of predicting invasion processes in urban ecosystems, where conventional bioclimatic models often fail to capture the complex mosaic structure of the environment. The study aims to develop and formalize a spatiotemporal model of invasive arthropod spread in urban ecosystems with recreational areas, considering their role as attractors, repellents, and ecological traps. The objectives included analyzing the spatial structure of urban ecosystems, identifying patterns of population distribution, and assessing the influence of environmental connectivity on invasion processes. The methodology was based on a spatially explicit discrete matrix approach, in which the urban ecosystem was modeled as a 10×10 grid. Contagion (Kc) and structural connectivity (Ksh) coefficients were applied to evaluate spatial patterns and simulate population spread scenarios. The results demonstrate that the degree of saturation of urban ecosystems with recreational areas, as well as their spatial connectivity, determines the nature of invasion processes. It was found that at a Schroeder coefficient of $Ksh \geq 0.6$, a network of ecologically connected localities is formed, enabling active biotic exchange and facilitating the spread of invasive species. In contrast, at $Ksh < 0.6$, the system becomes fragmented, and the infiltration process follows a probabilistic pattern based on Markov transitions. It was also established that the type of spatial distribution (uniform, random, or aggregated) significantly influences the formation of population clusters and their rate of spread. Recreational areas were shown to have a dual function, acting either as centers of population accumulation or as barriers, thereby creating an ecological trap effect. An analytical relationship describing the rate of population infiltration as a function of trophic specialization, resource availability, and spatial structure of the environment is proposed. The findings highlight that incorporating the spatiotemporal organization of urban ecosystems significantly improves the accuracy of invasion predictions. The practical significance of the study lies in the application of the model for identifying high-risk zones and optimizing the management of urban green spaces.

Keywords: urban ecosystems, spatiotemporal modeling, recreational localities, ecological connectivity, Schroeder coefficient.

Просторово-часова модель поширення інвазійних членистоногих в урбоекосистемах з рекреаційними локалітетами

А. В. Фокін¹ | Л. М. Бондарева²

¹ Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків НААН України
Київ, Україна

² Національний університет біоресурсів і природокористування України,
Київ, Україна

У статті розглянуто сучасні підходи до моделювання поширення інвазійних видів в урбоекосистемах з урахуванням їх просторово-часової динаміки та функціональної неоднорідності середовища. Актуальність досліджень зумовлена необхідністю підвищення точності прогнозування інвазійних процесів у міських екосистемах, де класичні біокліматичні моделі не враховують складну мозаїчну структуру середовища. Метою дослідження є розроблення та формалізація просторово-часової моделі поширення інвазійних членистоногих в урбоекосистемах із рекреаційними локалітетами з урахуванням їх ролі як атракторів, репелерів та екологічних пасток. Завдання включали аналіз просторової структури урбоекосистем, визначення типів розподілу популяцій та оцінку впливу зв'язаності середовища на інвазійні процеси. Методика досліджень базувалась на використанні просторово-дискретного матричного підходу з моделюванням урбоекосистем у вигляді матриці 10×10, а також застосування коефіцієнтів контагіозності (Kc) і структурної зв'язаності (Ksh) для оцінки просторових характеристик середовища та сценаріїв поширення популяції. У результаті встановлено, що рівень насиченості урбоекосистем рекреаційними зонами та ступінь їх зв'язаності визначають характер інвазійних процесів. Показано, що за значення коефіцієнта Шредера $Ksh \geq 0.6$ формується мережа екологічно зв'язаних локалітетів, що забезпечує активний біотичний обмін і сприяє поширенню інвазійних видів. Водночас за $Ksh < 0.6$ система характеризується фрагментованістю, а процес інфільтрації набуває ймовірнісного характеру з використанням марківських переходів. Визначено, що тип просторового розподілу (рівномірний, випадковий або контагіозний) істотно впливає на формування осередків популяції та швидкість їх поширення. Доведено, що рекреаційні локалітети можуть виконувати подвійну функцію – виступати як осередки накопичення популяцій або як бар'єри, формуючи ефект екологічної пастки. Запропоновано аналітичну залежність швидкості інфільтрації популяції від трофічної спеціалізації виду, ресурсної забезпеченості та просторової структури середовища. У висновках підкреслено, що врахування просторово-часової організації урбоекосистем суттєво підвищує ефективність прогнозування інвазій. Практичне значення роботи полягає у використанні моделі для ідентифікації зон підвищеного ризику та оптимізації управління міськими зеленими насадженнями.

Ключові слова: урбоекосистема, просторово-часове моделювання, рекреаційні локалітети, екологічна зв'язаність, коефіцієнт Шредера.



Бібліографічний опис для цитування: Фокін А. В., Бондарева Л. М. Просторово-часова модель поширення інвазійних членистоногих в урбоекосистемах з рекреаційними локалітетами. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 81–86.

Вступ

Сучасна парадигма використання інформаційних підходів у системах захисту рослин від шкідників передбачає комплексне застосування методів прогнозування поширення інвазійних видів, визначення потенційних ареалів адвентивних організмів на основі біокліматичних показників, аналіз змін кліматичних предикторів, а також оцінювання трансформації трофічної структури екологічних ніш у біо- та агроценозах під впливом глобальних кліматичних змін. Такі підходи дозволяють моделювати ризики інвазій і оцінювати потенційну шкідливість видів [15, 21, 23, 24].

Разом із тим, суттєвим обмеженням зазначених підходів є недостатнє врахування просторово-часової динаміки урбоєкосистем, яка у поєднанні з популяційною динамікою членистоногих значною мірою визначає характер, швидкість та конфігурацію інвазійних процесів [1, 4, 6, 17]. Урбоєкосистеми створюють специфічні умови середовища, що можуть як сприяти інвазіям, так і перешкоджати їм. Зокрема, урбоєкосистема може виступати як атрактор або репелер для інвазійних видів. Така подвійність зумовлена екологічними характеристиками видувселення (зокрема, його гемерофільністю або гемерофобністю), особливостями первинного ареалу та історією експансії. У ряді випадків середовище, що на початкових етапах колонізації виступає як атрактор, згодом трансформується в репелер, формуючи так звану екологічну пастку. Теорія екологічної пастки розглядається як одне з найбільш переконливих пояснень феномену різкого зниження чисельності популяцій інвазійних видів після фази їх стрімкого поширення [8, 14, 16, 23].

Атракторні властивості урбоєкосистем реалізуються через низку факторів, серед яких ключовими є ефект «теплого острова», що впливає на кліматичні переваги видів, формування нових екологічних ніш, які підвищують ймовірність акліматизації, а також зниження щільності або ефективності агентів біотичного регулювання (ентомофагів, хижаків, ентомопатогенів), що сприяє інтеграції інвазійних видів у нові угруповання.

Важливим аспектом функціонування екосистем є також просторовий розподіл їхніх структурних елементів, який визначає характер їхньої динаміки [5, 11]. Характеристики розподілу – рівномірність, випадковість і контагіозність – виступають індикаторами типу екосистеми та визначають особливості її реакції на інвазійні процеси [9, 20]. Інтеграція теорії просторових розподілів із концепцією «атракторів-репелерів» дозволяє формувати більш адекватні моделі прогнозування інвазій.

Таким чином, сучасний підхід до моделювання інвазійних процесів передбачає врахування просторово-часової динаміки урбоєкосистем, їх типологічних характеристик та функціонування як атракторів, репелерів або екологічних пасток, що дозволяє підвищити точність прогнозів на етапах колонізації та акліматизації видів-вселенців [10].

Мета дослідження

Метою дослідження є розроблення та формалізація моделі поширення популяцій інвазійних членистоногих в урбоєкосистемах із рекреаційними локалітетами на основі аналізу їх просторово-часової динаміки, з урахуванням структурної організації середовища, типів просторового розподілу та функціонування урбоєкосистем як атракторів, репелерів і екологічних пасток.

Матеріали і методи

Дослідження просторово-часової динаміки популяцій інвазійних членистоногих в урбоєкосистемах із рекреаційними локалітетами виконано із застосуванням просторово-дискретного матричного підходу, який дозволяє формалізувати мозаїчну структуру міського середовища та процеси формування локальних осередків підвищеної чисельності популяцій.

Об'єктом моделювання була умовна урбоєкосистема, представлена у вигляді матриці розмірності (10×10) , елементи якої відповідають окремим локалітетам середовища (урбанізовані території, рекреаційні зони, проміжні ділянки). Рекреаційні локалітети розглядалися як ділянки із підвищеною екологічною ємністю, здатні виконувати функції атракторів або репелерів інвазійних видів.

Моделювання здійснювали у декілька етапів. На першому етапі формували фонову матрицю з мінімальною відмінною від нуля дисперсією значень, що забезпечує можливість коректного визначення типу просторового розподілу (рис. 1).

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 1. Варіант вертикально орієнтованої фонові матриці 10×10 з рівномірним (0,09) розподілом за критерієм Сведберга (K_c)

На другому етапі задавали початкові умови інвазійного процесу, включаючи локалізацію первинного осередку та умовні параметри популяції. На третьому етапі визначали характер просторового розподілу показників із використанням коефіцієнта контагіозності за критерієм Сведберга (K_c), який обчислювали як відношення дисперсії до середнього значення. Залежно від отриманих значень розподіл класифікували як рівномірний ($K_c < 1$), випадковий ($K_c = 1$) або контагіозний ($K_c > 1$). Високі значення

Кс відповідають формуванню агрегованих осередків популяцій, що характерно для паркових зон, тоді як низькі значення відображають рівномірне розселення в щільно урбанізованих територіях.

Для оцінювання ступеня просторової зв'язаності рекреаційних локалітетів використовували коефіцієнт Шредера (Кш), який визначає співвідношення площ придатних для існування ділянок до загальної структури середовища. Порогове значення $K_{ш} \geq 0,6$ розглядалося як умова формування біотичного обміну між локалітетами та виникнення екологічних коридорів.

Формалізацію процесів інфільтрації інвазійних популяцій здійснювали з урахуванням двох сценаріїв: за умов $K_{ш} \geq 0,6$, коли формується мережа зв'язаних локалітетів із можливістю активного біотичного обміну та за умов $K_{ш} < 0,6$, коли система характеризується фрагментованістю і обмеженою міграцією. У першому випадку застосовували трендову модель взаємозв'язку між коефіцієнтами Кс і Кш, у другому – ймовірнісний підхід на основі марківських переходів між станами системи.

Швидкість інфільтрації популяцій інвазійних видів визначали на основі аналітичної залежності, що враховує відстань до периферійної зони, трофічну спеціалізацію виду, придатність ресурсної бази та ступінь зв'язаності середовища. Час у моделі розглядався як дискретна величина, а зміни станів системи – як послідовність переходів між локалітетами.

Модель базується на низці припущень: однорідність умов у межах окремого елемента матриці, дискретність простору і часу, а також відсутність прямого врахування короткострокових кліматичних коливань і міжвидової конкуренції. Незважаючи на це, запропонований підхід дозволяє адекватно відтворювати основні закономірності просторової

організації та поширення інвазійних популяцій в урбоекосистемах [10].

Результати та їх обговорення

Площа міських зелених ділянок, їхня просторово-функціональна зв'язаність і структура рослинності є ключовими чинниками, які визначають розподіл рослинних угруповань і пов'язаних з ними груп комах. Фрагментація урбофітоценозів створює умови, за яких інвазійні рослини можуть закріплюватися на ізолюваних ділянках, формуючи стабільні осередки, які згодом слугують джерелами поширення як самих рослин, так і спеціалізованих або інвазійних членистоногих-поліфагів. Тому просторове планування зелених зон розглядається як ефективний інструмент зниження ризику інвазій рослин і фітофагів у межах міста. Це підкреслює, що результати просторового аналізу можуть безпосередньо трансформуватися в практичні рішення щодо управління міськими зеленими насадженнями.

Відомо, що використання локалітетів з придатними місцями існування як проміжного етапу процесу інфільтрації (взаємодія окремих локалітетів як мережі) можливе лише за умови співвідношення їх до матриці не менше 0,6 – так званий коефіцієнт Шредера (Кш) [13]. Значення $K_{ш} = 0,6$ – порогове, з нього починають проявлятися властивості рекреаційних зон, завдяки яким стає можливим не лише приваблювати членистоногих (функція атрактивності), а й утримувати їх – створювати екологічно стійкі осередки для існування. За $K_{ш} \geq 0,6$ у рекреаційних зонах, аналогічно периферійній – 9 % зоні [7], формується рух популяцій гемерофобів – біотичний потік, який є синтезом видового різноманіття, динаміки чисельності та екологічних ніш (табл. 1).

Таблиця 1

Оптимізаційна матриця значень коефіцієнту Шредера в урбоекосистемі з рекреаційними зонами (пояснення у тексті)

Етап еволюції урбоекосистеми, %	Насиченість урбоекосистеми рекреаційними зонами, %								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
10	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
30	0,33	0,67	1	1,33	1,66	2	2,33	2,67	3
40	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25
50	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
60	0,17	0,33	0,5	0,67	0,83	1	1,17	1,33	1,5
70	0,14	0,28	0,43	0,57	0,71	0,86	1	1,14	1,28
80	0,12	0,25	0,37	0,5	0,62	0,75	0,87	1	1,12
90	0,11	0,22	0,33	0,44	0,55	0,67	0,78	0,89	1

Примітки: рядки – етапи урбанізації; стовпці – частка рекреаційних зон.

Інтерпретація значень коефіцієнту Шредера оптимізаційної матриці буде такою:

- за співвідношення $0,6 \leq x < 1$ формується мережа рекреаційних зон у яких є потенціал до обміну біотою (основна характеристика – можливість циркуляції біоти);
- оптимізаційна пряма 45° , уособлена значеннями «1», показує, що «зелені» зони стануть непроникним бар'єром на маршруті інфільтрації популяції інвайдера-гемерофоба до периферії еко-

системи, вони спрацюють як і периферійна зона, приваблюючи членистоногих;

- за $x > 1$ – екосистема тяжіє до фрагментованої первинної екосистеми (основна характеристика – активна циркуляція біоти), види-вселенці будуть активно колонізувати ці локалітети і з часом використовувати їх як плацдарм для подальшої експансії;
- зазначень, що значно перевищують 1 рекреаційні зони зливаються, зникає розшарування екосистеми на власне урбоекосистему та її периферію;

- За $0 < x < 0,6$ залежність швидкості інфільтрації від рекреаційних локалітетів на маршруті падає, і хоча вони залишаються осередками, придатними для підвищення чисельності нового виду, він потрапляє до них випадково, обмін біотою між рекреаційними зонами мінімізується.

Формалізацію процесів інфільтрації доцільно проводити за двох умов: $K_{ш} \geq 0,6$ та $K_{ш} < 0,6$. У першому випадку важливою є порогова модель старту біотичного обміну між рекреаційними зонами урбо-екосистеми (рис. 2).

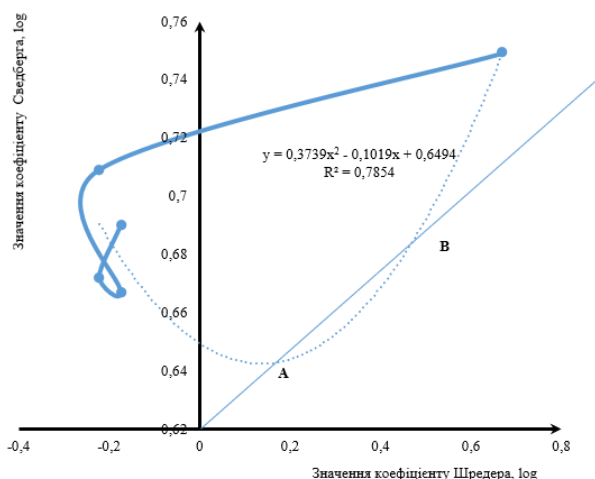


Рис. 2. Порогова модель старту біотичного обміну між рекреаційними зонами урбоекосистеми, $K_{ш} 0,6-0,67$; А, В – стійкі стани рівноваги системи

Ця модель визначається як поліном тренду ($R^2=0,7854$) залежності логарифмів значень коефіцієнтів Сведберга та Шредера, побудований за значеннями варіантів (приклад одного з варіантів показано на [рисунку 3](#)): 30 : 20; 50 : 30; 60 : 40; 80 : 50 та 90 : 60 (% насичення атрактивними точками, % з яких є рекреаційними зонами) оптимізаційної матриці ([табл. 1](#)).

$$\log K_c = 0,3739 \log K_{sh}^2 - 0,1019 \log K_{sh} + 0,6494 \quad (1)$$

де K_c – значення коефіцієнту Сведберга;
 K_{sh} – значення коефіцієнта Шредера.

1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	11	12	11	12	1	12	11	2	2
1	12	1	1	11	1	1	12	1	1
1	11	12	11	12	11	1	11	1	1
1	12	11	1	1	12	1	12	1	1
1	11	1	11	12	11	12	1	1	1
1	12	1	12	1	12	11	1	1	1
12	11	12	11	12	11	12	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Рис. 3. Урбоекосистема з рекреаційними зонами: варіант 50 : 30 (50 % насичення атрактивними точками, 30 % з яких є рекреаційними зонами, визначені за допомогою генератора випадкових чисел), $K_{ш} = 0,6$

Нулі-ізокліни кривої тренду та оптимізаційної прямої 45° визначають два екстремуми А і В, що відповідають станам рівноваги системи – значення K_c 4,3752 та 4,8977, діапазон між якими можна визначити як діапазон рівноваги.

Формалізацію моделі інфільтрації за умови $K_{ш} < 0,6$ доцільно провести на основі ймовірнісних марківських переходів між станами. При цьому важливо розрізняти рекреаційні зони регулярні, які виникли в результаті реалізації містобудівних проєктів, і фрагментарні – залишки похідної екосистеми, у межах якої еволюціонувала урбоекосистема. Перші, з порівняно незначною площею, характеризуються стабільністю; другі, навпаки, часто мають значну площу, але під тиском забудови поступово зменшуються, а отже, є динамічними.

Трьохтактна інфільтрація (регулярні трофічні ніші). За умови $K_{ш} < 0,6$ рекреаційні зони не мають біотичного обміну і не можуть бути бар'єром для інфільтрації з урбоекосистеми; потрапляння популяції з E_1 до E_2 є малоімовірною подією, так само, як і збільшення чисельності ([табл. 2](#)).

Таблиця 2

Матриця ймовірностей переходу $E_1 \rightarrow E_3$ за інфільтрації популяції гемерофоба із екологічної пастки урбоекосистеми з рекреаційними зонами

y	E ₁	E ₂	E ₃
i ₃			
E ₁	X ₁ ⁻¹ →0	P ₁₂ <<0,5	P ₁₃ <<0,5
E ₂	P ₂₁ >0,5	X ₂ ⁻¹ →0	P ₂₃ =0,5
E ₃	0	P ₃₂ =0,5	X ₃ ⁻¹ →max

Але ймовірність переходу вже $E_2 \rightarrow E_3$ значно зростає. Тобто, для особин, які потрапили до рекреаційних зон, шанси вийти з екологічної пастки у 9 % периферію збільшуються. Трофічна спеціалізація також втрачає сенс, оскільки регулярні рекреаційні локалітети, попри незначний розмір, мають більше трофічних ресурсів порівняно з випадковими нерегулярними локалітетами, розглянутими у моделі двотактної інфільтрації. Перехід з E_n до E_{n+1} буде менш витратним, якщо здійснюється у напрямі зменшення чисельності популяції або зменшення ймовірності самого переходу (порівняно з попереднім).

Запропонована модель може бути використана для ідентифікації потенційних маршрутів поширення інвазійних видів у межах міських агломерацій.

Марківські ланцюги для цього сценарію будуть мати вигляд:

$$E_1 \rightarrow E_1 \rightarrow E_2 \rightarrow E_2 \rightarrow E_3, \text{ для } P=1 \quad (3)$$

$$E_1 \rightarrow E_3, \text{ для } P<1 \quad (4)$$

Отримані результати підтверджують, що врахування просторово-часової структури урбоекосистем є ключовим фактором у моделюванні інвазійних процесів. На відміну від класичних підходів, орієнтованих переважно на кліматичні або біокліматичні предиктори, запропонована модель дозволяє врахувати внутрішню мозаїчність середовища та функціональну роль його елементів, що узгоджується із сучасними підходами урбоекології [1, 18, 21].

Використання коефіцієнтів контагіозності (Кс) та структурної зв'язаності (Кш) відповідає сучасним уявленням ландшафтної екології, згідно з якими просторова конфігурація середовища визначає інтенсивність біотичних потоків і патерни поширення організмів [5, 11, 14]. Встановлено порогове значення $K_{sh} \geq 0,6$, що узгоджується із сучасними дослідженнями екологічної зв'язаності, де показано, що саме порогові ефекти визначають формування функціональних екологічних мереж [22].

Інтеграція концепції «атрактор – репелер – екологічна пастка» у формалізовану модель дозволяє пояснити варіабельність поведінки інвазійних видів у міських умовах. Зокрема, для *Cameraria ohridella* (Deschka & Dimic, 1986) міські насадження каштана виступають як атрактори на початкових етапах колонізації, але в подальшому можуть формувати умови екологічної пастки через виснаження ресурсів та підвищення тиску природних ворогів [3, 12]. Аналогічно, *Halyomorpha halys* (Stål, 1855) демонструє високу адаптивність до урбанізованих територій, однак його просторовий розподіл суттєво залежить від структури зелених зон і ландшафтної гетерогенності [19].

Сучасні дослідження також підтверджують, що фрагментація та конфігурація урбофітоценозів визначають формування осередків інвазійних видів та їх подальше поширення [2, 17]. У цьому контексті рекреаційні локалітети можуть виконувати функції екологічних коридорів або бар'єрів, що безпосередньо впливають на сценарії інвазій.

Порівняно з традиційними моделями поширення видів (SDM), які базуються переважно на кліматичних змінних, сучасні дослідження підкреслюють необхідність інтеграції локальних просторових факторів, особливо для урбанізованих територій [20, 24]. Запропонована модель відповідає цій тенденції, оскільки враховує структурну неоднорідність середовища та його функціональну організацію.

Разом з тим, модель має певні обмеження. Вона базується на припущенні однорідності умов в межах окремих елементів матриці та не враховує поведінкові аспекти організмів і короткострокову кліматичну мінливість, що відзначається як один із ключових викликів сучасної інвазійної екології [15, 23]. Подальші дослідження мають бути спрямовані на поєднання запропонованого підходу з геоінформаційними технологіями та емпіричними даними.

Таким чином, результати дослідження узгоджуються із сучасними тенденціями розвитку інвазійної урбоекології і підтверджують перспективність використання просторово-орієнтованих моделей для прогнозування поширення інвазійних видів у міських екосистемах, що відкриває можливості для інтеграції моделі з GIS-технологіями та системами фітосанітарного моніторингу.

Висновки

Розроблено модель поширення інвазійних членистоногих в урбоекосистемах, що поєднує просторові характеристики середовища (Кс, Кш) з концепцією «атрактор–репелер–екологічна пастка». Встановлено порогове значення насичення урбоекосистеми

рекреаційними зонами, що відповідає значенню коефіцієнта Шредера ($K_{sh} \geq 0,6$), яке визначає перехід до активного біотичного обміну та формування екологічних коридорів. Показано, що тип просторового розподілу елементів урбоекосистеми визначає сценарії формування та поширення популяцій інвазійних видів. Доведено ключову роль рекреаційних локалітетів у регуляції інвазійних процесів як факторів, що можуть виступати атракторами.

Перспектива подальших досліджень полягає у можливості використання розробленої моделі для прогнозування поширення інвазійних членистоногих в урбоекосистемах, ідентифікації зон підвищеного ризику та оптимізації управління міськими зеленими насадженнями.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Alberti, M. (2005). The effects of urban patterns on ecosystem function. *International Regional Science Review*, 28 (2), 168–192. <https://doi.org/10.1177/0160017605275160>
2. Beninde, J., Veith, M., & Hochkirch, A. (2015). Biodiversity in cities needs space: a meta-analysis of factors determining intra-urban biodiversity variation. *Ecology Letters*, 18 (6), 581–592. <https://doi.org/10.1111/ele.12427>
3. Bondareva, L., & Tarnavskyi, N. (2023). The main factors influencing the damage and population dynamics of *Cameraria ohridella* (Deschka & Dimic, 1986) in urban plantations of Kyiv region. *Biological Systems: Theory and Innovation*, 14 (3-4). [https://doi.org/10.31548/biologiya14\(3-4\).2023.012](https://doi.org/10.31548/biologiya14(3-4).2023.012)
4. Buenrostro, J. H., & Hufbauer, R. A. (2022). Urban environments have species-specific associations with invasive insect herbivores. *Journal of Urban Ecology*, 8 (1). <https://doi.org/10.1093/jue/juac011>
5. Fletcher, R. J., Smith, T. A. H., Troy, S., Kortessis, N., Turner, E. C., Bruna, E. M., & Holt, R. D. (2024). The prominent role of the matrix in ecology, evolution, and conservation. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 55 (1), 423–447. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102722-025653>
6. Flickinger, H. D., & Dukes, J. S. (2024). A review of theory: Comparing invasion ecology and climate change-induced range shifting. *Global Change Biology*, 30 (12), e17612. <https://doi.org/10.1111/gcb.17612>
7. Turner, M. G., & Gardner, R. H. (2015). *Landscape ecology in theory and practice: Pattern and process* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2794-4>

8. Fokin, A. V., Adamchuk, O. S., & Mishchenko, O. A. (2025). Construction of complex systemic preparations for beekeeping and plant protection based on the principle of neural networks. *Scientific and Production Journal Beekeeping of Ukraine*, 15, 112–119. <https://doi.org/10.32782/beekeepingjournal.2025.15.13>
9. Strogatz, S. H. (2018). *Nonlinear dynamics and chaos: With applications to physics, biology, chemistry, and engineering* (2nd ed.). CRC Press
10. Fokin, A. V., Moroz, S. Yu., & Adamchuk, O. S. (2026). *Theoretical aspects of designing plant protection systems against phytophagous insects*. Phoenix Publishing House.
11. Forman, R. T. T. (1995). *Land mosaics: The ecology of landscapes and regions*. Cambridge University Press.
12. Freise, J. F., Heitland, W., & Tosevski, I. (2002). Parasitism of the horse chestnut leaf miner, *Cameraria ohridella* Deschka and Dimic (Lep., Gracillariidae), in Serbia and Macedonia. *Anzeiger Für Schädlingkunde*, 75 (6), 152–157. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0280.2002.02046.x>
13. Hanski, I. (1999). *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198540663.001.0001>
14. Hanski, I., Kinne, O., & Bazzaz, F. A. (2005). *The shrinking world: Ecological consequences of habitat loss*. International Ecology Institute.
15. Hastings, A., Cuddington, K., Davies, K. F., Dugaw, C. J., Elmendorf, S., Freestone, A., Harrison, S., Holland, M., Lambrinos, J., Malvadkar, U., Melbourne, B. A., Moore, K., Taylor, C., & Thomson, D. (2004). The spatial spread of invasions: new developments in theory and evidence. *Ecology Letters*, 8 (1), 91–101. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00687.x>
16. Schlaepfer, M., Runge, M., & Sherman, P. (2002). Ecological and evolutionary traps. *Trends in Ecology & Evolution*, 17 (10), 474–480.
17. Kowarik, I. (2023). Urban biodiversity, ecosystems and the city. Insights from 50 years of the Berlin School of urban ecology. *Landscape and Urban Planning*, 240, 104877. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104877>
18. Liu, N., Liu, Z., & Wu, Y. (2025). Direct and indirect impacts of urbanization on biodiversity across the world's cities. *Remote Sensing*, 17 (6), 956. <https://doi.org/10.3390/rs17060956>
19. Nixon, L. J., Acebes-Doria, A., Kirkpatrick, D., & Leskey, T. C. (2024). Influence of deployment method and maintenance on efficacy of sticky card traps for *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae). *Journal of Economic Entomology*, 117 (5), 2003–2008. <https://doi.org/10.1093/jee/toae192>
20. Pan, R., Zhang, J., Xue, W., Xia, Q., Liu, J., Yan, J., Ling, H., & Jin, X. (2025). Research on the evolution and optimization of ecological networks in arid areas based on machine learning and multi-source remote sensing data. *Environmental and Sustainability Indicators*, 27, 100830. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100830>
21. Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., Grove, J. M., Nilon, C. H., Pouyat, R. V., Zipperer, W. C., & Costanza, R. (2001). Urban ecological systems: Linking terrestrial ecological, physical, and Socioeconomic components of metropolitan areas. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), 127–157. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114012>
22. Rao, X., Li, J., & Li, J. (2025). Multi-scale differences in landscape connectivity evaluation and protection strategies: a case study of Chongqing, China. *Scientific Reports*, 15 (1), 4965. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88629-6>
23. Renault, D., Manfrini, E., Leroy, B., Diagne, C., Ballesteros-Mejia, L., Angulo, E., & Courchamp, F. (2021). Biological invasions in France: Alarming costs and even more alarming knowledge gaps. *NeoBiota*, 67, 191–224. <https://doi.org/10.3897/neobiota.67.59134>
24. Zurell, D., Franklin, J., König, C., Bouchet, P. J., Dormann, C. F., Elith, J., Fandos, G., Feng, X., Guillerá-Aroita, G., Guisan, A., Lahoz-Monfort, J. J., Leitão, P. J., Park, D. S., Peterson, A. T., Rapacciolo, G., Schmatz, D. R., Schröder, B., Serra-Diaz, J. M., Thuiller, W., Yates, K. L., Zimmermann, N. E. & Merow, C. (2020). A standard protocol for reporting species distribution models. *Ecography*, 43 (9), 1261–1277. <https://doi.org/10.1111/ecog.04960>

ORCID

A. Fokin  <https://orcid.org/0000-0002-6872-0421>
 L. Bondareva  <https://orcid.org/0000-0002-8171-2338>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Study of the spore-forming activity of the *Blakeslea trispora* mushroom

I. Zubareva | H. Safonova | O. Dregval | V. Havrylyuk | T. Sklyar

Article info

Correspondence Author

H. Safonova

E-mail:

safonova191@gmail.com

Oles Honchar Dnipro

National University,

Nauky Ave. 72, Dnipro

49045, Ukraine

Citation: Zubareva, I., Safonova, H., Dregval, O., Havrylyuk, V., & Sklyar, T. (2026). Study of the spore-forming activity of the *Blakeslea trispora* mushroom. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 87–91. doi: 10.31210/spi2026.29.01.14

Industrial production of carotene-containing preparations of natural origin is an urgent task of modern biotechnology. The importance of this problem is determined by the specificity and diversity of functions performed by carotenoids in living cells. The production of safe natural carotenoid products is possible only by biotechnological means, that is, with the participation of appropriate producer microorganisms. The most promising among various potential carotenoid-producing microorganisms was the mold fungus *Blakeslea trispora*, which was selected in Ukraine as an industrial producer of beta-carotene. But if certain inducing components are used in the nutrient media, the fungus switches to oversynthesis of lycopene or other carotenoids. The production of safe natural carotenoid products is possible only by biotechnological methods with the participation of appropriate producer microorganisms. The most promising among various potential carotenoid producers was the mold fungus *B. trispora*, which was selected in Ukraine as an industrial producer of various carotenoids. A physiological feature of this producer was the instability of sporulation in both (+) and (-) strains of the heterothallic fungus. The aim of the work is to develop methods for increasing the level of sporulation ability of *B. trispora* under surface cultivation conditions. The level of sporulation was estimated by the number of spores per 1 cm². Counting chambers were used to count the number of spores. The work proposed the use of physical and chemical factors to intensify sporulation in *B. trispora*. Thus, the stimulating effect of the duration of visible light illumination on the sporulation ability of *B. trispora* was studied. The influence of different parts of the visible light spectrum on the studied process was also determined: violet, blue, green, yellow and red. It was found that the maximum number of spores is formed when the surface culture is illuminated for at least 4 days at an intensity of 300 lux. The maximum stimulating effect was achieved when illuminating the surface culture of *B. trispora* with red light: the number of spores increased 35 times compared to the dark control. Since repeated light exposure may cause undesirable metabolic processes in fungal cells, the effect of some antioxidants on the growth and carotenogenesis of populations of the fungus *B. trispora* obtained from shoals grown under intense light conditions was tested. Citric acid, ascorbic acid, vitamin E, cysteine, and urea were used as antioxidant nutrient components. It was found that the studied antioxidants do not affect the producer's ability to accumulate biomass and synthesize beta-carotene. The intensity of sporulation also does not change.

Key words: spore-forming ability, sporulation, mucor fungus, surface culture, *Blakeslea trispora*, influence, nutrient media.

Дослідження спорутоутворюючої активності муковорого гриба *Blakeslea trispora*

I. М. Зубарева | Г. Д. Сафонова | О. А. Дрегваль | В. Г. Гаврилюк | Т. В. Скляр

Дніпровський національний

університет імені Олеса

Гончара,

м. Дніпро Україна

Промислове отримання каротинвмісних препаратів природного походження є актуальною задачею сучасної біотехнології. Важливість даної проблеми визначається особливістю та різноманітністю функцій, які виконують каротиноїди в живих клітинах. Виробництво безпечних природних каротиноїдних продуктів можливе тільки біотехнологічним способом, тобто за участю відповідних мікроорганізмів-продуцентів. Найбільш перспективним серед різних потенційних мікроорганізмів-продуцентів каротиноїдів виявився муковорий гриб *Blakeslea trispora*, який обрано в Україні в якості промислового продуцента бета-каротину. Але за умови використання певних індукуючих компонентів в складі поживних середовищ гриб переходить до надсинтезу лікопіну або інших каротиноїдів. Фізіологічною особливістю даного продуцента виявилася нестабільність спорутоутворення як у (+), так і у (-) штамів гетероталічного гриба. Метою роботи є визначення способів підвищення рівня спорутоутворюючої здатності *B. trispora* в умовах поверхневого культивування. Рівень спорутоутворення оцінювали за кількістю спор на 1 см². Для підрахунку кількості спор користувалися рахунковими камерами. В роботі для інтенсифікації спорутоутворення у *B. trispora* запропоновано використання фізичних чинників. Так, вивчено стимулюючий вплив тривалості освітлення видимим світлом на спорутоутворюючу здатність *B. trispora*. Визначено також вплив на досліджуваний процес різних ділянок спектра видимого світла: фіолетового, синього, зеленого, жовтого і червоного. Виявлено, що максимальна кількість спор утворюється при освітленні поверхневої культури не менше 4 діб при інтенсивності 300 люкс. Максимальний стимулюючий ефект досягнуто при освітленні поверхневої культури *B. trispora* червоним світлом: кількість спор збільшувалася в порівнянні з темновим контролем в 35 разів. Так як багаторазове світлове опромінення може викликати небажані метаболічні процеси в клітинах гриба, було перевірено вплив деяких антиоксидантів на ріст і каротиногенез популяцій гриба *B. trispora*, отриманих з косяків, вирощених в умовах інтенсивного освітлення. Як антиоксидантні компоненти в поживних середовищах використовували лимонну, аскорбінову кислоту, вітамін Е, цистеїн та сечовину. Встановлено, що досліджувані антиоксиданти не впливають на здатність продуцента накопичувати біомасу і синтезувати бета-каротин. Інтенсивність спорутоутворення при цьому також не змінюється.

Ключові слова: спорутоутворююча здатність, спорутоутворення, муковорий гриб, поверхнева культура, *Blakeslea trispora*, вплив, поживні середовища.



Бібліографічний опис для цитування: Зубарева І. М., Сафонова Г. Д., Дрегваль О. А., Гаврилюк В. Г., Скляр Т. В. Дослідження спорутоутворюючої активності муковорого гриба *Blakeslea trispora*. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 87–91.

Вступ

Необхідність різних галузей господарства в каротинвмісних продуктах і препаратах природного походження є очевидною і актуальною для теперішнього часу. Даний факт пояснюється різноманітністю властивостей та важливістю функцій, які виконують каротиноїди в живих клітинах. Так, найбільш дослідженою є А-провітамінна функція бета-каротину [1, 2]. Лікопін розглядається як цінна та універсальна біологічна сполука з різноманітними властивостями, так як є антиоксидантом, антимутагеном, імуномодулятором; каротиноїди приймають участь у різних обмінних процесах, у перенесенні електронів і протонів через мембрани клітин; а також проявляють радіопротекторні, протиракові, антимутагенні, ювенільні й інші лікувальні властивості [3–5].

Тому перспективним є використання каротиноїдів у харчовій галузі, медицині, фармацевтичній промисловості, косметології, сільському господарстві.

Існують різні способи отримання каротинвмісних препаратів: екстракція із рослинної сировини (обліпиха, морква, гарбуз, люцерна, водорості, інші), хімічний синтез, біотехнологічний спосіб [6, 7]. Кожний із вказаних методів має певні недоліки і переваги, але промислове виробництво безпечних природних каротиноїдних продуктів в даний період можливе тільки за участю відповідних мікроорганізмів-продуцентів, тобто біотехнологічним способом [8].

Найбільш перспективним серед різних потенційних продуцентів каротиноїдів виявився муковий гриб *Blakeslea trispora*, який і обрано в Україні в якості промислового продуцента бета-каротину. Даний зігоміцет відрізняється надсинтезом саме бета-каротину, але за умови використання певних індукуючих компонентів в складі поживних середовищ гриб переходить до надсинтезу лікопіну або інших каротиноїдів [9–11].

B. trispora утворює каротиноїди в ході глибинного сумісного культивування двох його статевих (+) і (-) форм. Повна технологічна схема отримання каротиноїдів за допомогою обраного продуцента *B. trispora* передбачає також поверхневе вирощування гриба, яке є обов'язковим при тривалому збереженні культури на агаризованих поживних середовищах та на стадії підготовки посівного матеріалу продуцента [12]. На даній стадії (підготовка посівного матеріалу) (+) і (-) штами гриба, які культивують окремо, утворюють спори. Інтенсивність же спороутворення розглядається як важливий параметр якості та фізіологічної активності посівної культури. Так, виявлено вплив кількості спор продуцента, що вносяться в маточні колби, на якість не тільки посівного матеріалу, але і на інтенсивність каротиногенезу у ферментерах. Встановлено, що при використанні $1 \cdot 10^6$ – $1 \cdot 10^8$ спор на 100 мл середовища утворюється дрібнодисперсний, фізіологічно активний міцелій. Причому виявлена залежність між кількістю спор і якістю міцелію гриба властива і для (+), і для (-) форм досліджуваного продуцента. Встановлено також позитивний вплив оптимальної кількості спор в

інокулюмі ($1 \cdot 10^6$ – $1 \cdot 10^8$) на каротинсинтезуючу здатність гриба *B. trispora* на стадії ферментації [13].

Але основною проблемою, яка була виявлена в ході багаторічної практичної роботи з даним продуцентом, виявилася нестабільність спороутворення як у (+) так і у (-) штамів гетероталічного гриба. Так, у поверхневій культурі на агаризованому живильному середовищі спори або практично відсутні, або ж утворюються у великих кількостях – до $3 \cdot 10^7$ шт на 1 см². При цьому здатність до спороношення (+) до (-) форм змінюється не пропорційно [14]. Тому важливо підтримувати у гриба здатність до спороутворення на стабільному і достатньо високому рівні.

Мета дослідження

Мета роботи полягає у виявленні способів підвищення рівня спороутворюючої здатності гриба *Blakeslea trispora* в умовах поверхневого культивування.

Завдання роботи:

- визначити вплив на рівень спороутворення у (+) та (-) штамів муковового гриба *B. trispora* такого фізичного фактора, як тривалість освітлення видимим світлом;
- виявити вплив на досліджуваний процес різних ділянок спектру видимого світла;
- визначити залежність розвитку популяцій *B. trispora*, отриманих з косяків, вирощених в умовах інтенсивного освітлення в присутності деяких речовин-антиоксидантів.

Матеріали і методи

Роботу виконана в умовах науково-дослідної лабораторії «Молекулярної біології та мікробної біотехнології» відповідно до НДР «Взаємовідносини мікроорганізмів в біоценозах» (державний реєстраційний номер – 0125U002226).

(+), (-) штами гриба-продуцента вирощували роздільно на сусло-агарових косяках [14, 15]. Неохмілене пивне сусло розбавлялося водопровідною водою до 7° по Баллінгу; рН до 6,5 доводили 33 %-ним їдким натром. До нагрітого на водяній бані розчину додавали 2,5 % агар-агару, після розплавлення якого середовище розливали по 7–10 мл в пробірки ТБ 18–80. Пробірки з середовищем закривали ватно-марлевими пробками і піддавали обов'язковій термічній обробці (стерилизували) тривалістю 45 хв. у стерилізаторі паровому електричному ВК–75 при 1,5 атмосферах [16]. Гарячі після стерилізації пробірки встановлювали під кутом 30–35° і витримували при 27 °С протягом 1–3 діб для перевірки стерильності готового поживного середовища [14, 16].

Посів на косяки проводився сумішшю спор і вегетативного міцелію, знятих з поверхні музейного косяка мікологічним гачком. Музейна культура зберігалася на агаризованих поживних середовищах. Засіяні косяки витримували при 28 °С протягом 7–10 діб. В пробірки з готовим посівним матеріалом заливали по 10 мл стерильної дистильованої води

і за допомогою мікологічного гачка з насічками ("граблі") суспендували спори і вегетативний міцелій. Отриману споро-міцеліальну суспензію використовували для засіву пробірок або чашок Петрі.

Середовища для поверхневого культивування продуцента агаризували і стерилізували аналогічно середовищам для музейних і робочих косяків. Стерильне середовище в гарячому стані розливали в чашки Петрі шаром 2–3 мм і витримували 1–3 доби при 27 °С. При роздільному вирощуванні засів проводився 0,5–1 мл споро-міцеліальної суспензії (+) або (-) штаму. Для порівняння зростання різностатевих штамів чашки Петрі засівали в протилежних кінцях споро-міцеліальною сумішшю, знятою мікологічним гачком з поверхні робочих косяків відповідного штаму.

Спороутворюючу здатність гриба в поверхневій культурі оцінювали за кількістю спор на 1 см². Для підрахунку кількості спор користувалися рахунковими камерами [16].

У ході статистичної обробки отриманих результатів використовували програмне забезпечення Microsoft Excel [17]. При цьому визначали середні арифметичні вибірки та стандартне відхилення. Оцінка достовірності результатів проводилася з урахуванням t-критерія Стьюдента. За достовірність відмінностей дослідних параметрів приймали $p < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Процес інтенсифікації спороутворення у грибів тісно пов'язаний з екологічним оточенням. Стимулами в цьому випадку можуть бути різні фактори зовнішнього середовища, серед яких суттєве значення мають і фізичні, і хімічні впливи [18]. Так, в роботі [19] досліджено вплив лазерного опромінення не тільки на швидкість радіального росту, а й на морфологічні особливості міцелію досліджених грибів та на вміст каротиноїдів в міцелії грибів *Laetiporus ulfureus*. Підібрані також дози світла різних спектрів з однаковою щільністю енергії, які проявляли позитивну дію на розвиток грибів-базидіоміцетів [20]. Також представлена інформація про позитивний вплив різних технологічних режимів аерації на біо-синтетичні процеси в клітинах гриба *B. trispora* [21]. В роботі [22] досліджено залежність ростових та метаболічних процесів каротиногенезу у *Rhodosporidium diobovatum* IMB Y-5023 від складу культурального середовища та від інтенсивності освітлення.

Так як в науковій літературі практично відсутні дані про вплив такого фізичного фактора, як світло, на спороношення гриба *B. trispora*, були проведені досліді по вивченню цієї залежності.

Для освітлення поверхневої культури досліджуваного гриба-продуцента використовували сонячне освітлення і лампи денного світла інтенсивністю близько 300 люкс. Культуру вирощували протягом семи діб, інтенсивність спороношення оцінювали за кількістю спор, що утворилися на 1 см² субстрату. Як контроль використовували косяки, які були вирощені в темряві.

Вивчено вплив тривалості освітлення видимим світлом на спороутворюючу здатність *B. trispora*. Косяки піддавалися освітленню з моменту їх засіву протягом 1–7 діб.

Результати досліджень представлені графічно на **рисунку 1**.

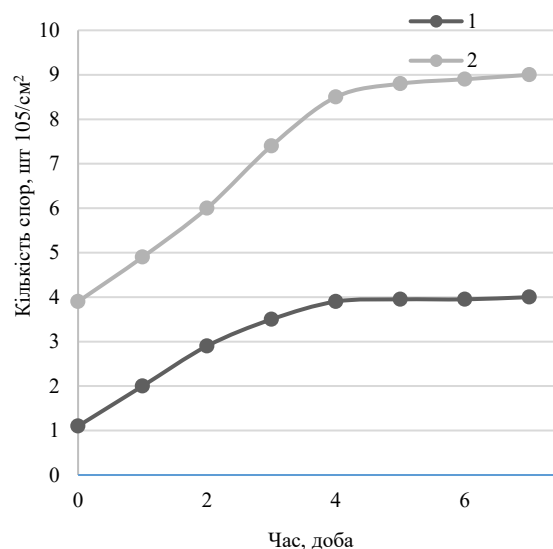


Рис. 1. Залежність спороутворюючої здатності гриба в поверхневій культурі від терміну освітлення видимим світлом: 1 – (+) штаму, 2 – (-) штаму

Як видно із **рисунку 1**, інтенсивність спороношення при збільшенні тривалості освітлення від 1 до 4 діб зростає і далі практично не змінюється.

Встановлено, що під впливом видимого світла змінюється також і морфологія

спор у обох форм гриба. Спори, що вирости в темряві, дрібні, неоднорідні. Спори ж, вирощені на світлі, однорідні за морфологічними ознаками і мають значно більші розміри.

Таким чином, для отримання максимальної кількості спор поверхневу культуру гриба необхідно висвітлювати не менше 4 діб.

Враховуючи, що видиме світло охоплює досить широку ділянку електромагнітних коливань від 400 до 760 нм [23], серед яких можуть бути не тільки ініціюючі, а й інгібуючі спороношення, було вивчено вплив на досліджуваний процес різних ділянок цього спектру: фіолетового ($\lambda = 430$ нм), синього ($\lambda = 470$ нм), зеленого ($\lambda = 550$ нм), жовтого ($\lambda = 600$ нм) і червоного ($\lambda = 650$ нм).

Отримані результати представлені в **таблиці 1**.

Таблиця 1

Вплив окремих ділянок спектра видимого світла на спороутворення у *Blakeslea trispora*

№ з/п	Довжина хвилі, нм	Кількість спор, шт/см ²
1	Темрява	$1 \cdot 10^6 \pm 0,05 \cdot 10^6$
2	430 (фіолетовий)	Практично немає
3	470 (синій)	$10 \cdot 10^6 \pm 0,50 \cdot 10^6$
4	550 (зелений)	$13 \cdot 10^6 \pm 0,65 \cdot 10^6$
5	580 (жовтий)	$23 \cdot 10^6 \pm 0,92 \cdot 10^6$
6	600 (помаранчевий)	$24 \cdot 10^6 \pm 0,96 \cdot 10^6$
7	650 (червоний)	$37 \cdot 10^6 \pm 1,48 \cdot 10^6$

Як видно з приведеної **таблиці 1** інгібуючу дію на процес спороутворення у *B. trispora* надає тільки фіолетове світло. Всі інші ділянки спектра видимого світла стимулюють спороношення. Причому зі збільшенням довжини хвилі спороутворююча здатність гриба підвищується. Максимальний стимулюючий ефект отримано при висвітленні косяків з культурою гриба червоним світлом. Кількість спор в цьому випадку збільшилася в порівнянні з темновим контролем в 37 разів.

Таким чином, світло є фактором, що дозволяє значно інтенсифікувати процес спороутворення у *B. trispora*.

Однак, світло здатне викликати ланцюгові радикальні процеси окислення в клітині [24]. Процес починається окисленням ненасичених жирних кислот в клітинних мембранах, потім передається на сусідні молекули, в тому числі білки, що призводить до порушення функціонування клітини і в кінцевому підсумку до її загибелі. Показано, наприклад, що під впливом світла відбувається руйнування мембран лізисом з наступним виділенням лізосомних ферментів [24]. Токсичну дію світла, звичайно, пригнічують внесенням в живильне середовище для вирощування мікроорганізмів речовин-антиоксидантів. Як антиоксиданти застосовують токоферол (вітамін Е), аскорбінову, лимонну кислоти, цистеїн, сечовину.

У досліджуваного продуцента в результаті багаторазового світлового опромінення можуть виникати небажані процеси, які порушують метаболізм клітини. Тому вивчено вплив різних антиоксидантів на ріст і каротиногенез популяцій *B. trispora*, отриманих з косяків, вирощених в умовах інтенсивного освітлення. Лимонну, аскорбінову кислоти, вітамін Е, цистеїн та сечовину вводили в кількості 0,1 % в щільне агаризоване середовище для вирощування гриба. Контролем служили косяки з суцільно-агаровим середовищем без добавок цих речовин.

Встановлено, що досліджувані антиоксиданти не впливають на здатність продуцента накопичувати біомасу і синтезувати бета-каротин. Інтенсивність спороношення при цьому також не змінюється.

Таким чином, введення антиоксидантів в живильне середовище на стадії поверхневого культивування не призводить до зміни фізіологічної активності продуцента і, отже, не впливає на результат ферментації. Це свідчить про те, що світлове опромінення посівного матеріалу з метою ініціювання спороношення не викликає помітних радикальних окислювальних процесів в клітинах гриба і не призводить до втрати продуцентом його активності.

Висновки

В роботі визначені способи підвищення рівня спороутворюючої здатності гриба *Blakeslea trispora* в умовах поверхневого культивування: світло є фактором, що дозволяє значно інтенсифікувати процес спороутворення у продуцента. Для отримання максимальної кількості спор поверхневу культуру

гриба необхідно освітлювати не менше 4 діб при інтенсивності 300 люкс.

Встановлено, що інгібуючу дію на процес спороутворення у *B. trispora* надає фіолетове світло. Максимальний стимулюючий ефект отримано при висвітленні косяків з культурою гриба червоним світлом. Кількість спор в цьому випадку збільшилася в порівнянні з темновим контролем в 37 разів.

Негативного впливу використаних речовин-антиоксидантів (лимонна, аскорбінова кислоти, вітамін Е, цистеїн, сечовина) на спороутворення і розвиток глибинної культури гриба не виявлено.

Перспективами подальших досліджень передбачається визначити способи інтенсифікації спороутворення у гриба *B. trispora* з використанням хімічних факторів.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі III під час підготовки цього рукопису.

References

1. Green, A. S., & Fascetti, A. J. (2016). Meeting the vitamin A requirement: The efficacy and importance of β -Carotene in animal species. *The Scientific World Journal*, 2016, 1–22. <https://doi.org/10.1155/2016/7393620>
2. Shin, K.-C., Seo, M.-J., Kim, Y.-S., & Yeom, S.-J. (2022). Molecular properties of β -carotene oxygenases and their potential in industrial production of vitamin A and its derivatives. *Antioxidants*, 11 (6), 1180. <https://doi.org/10.3390/antiox11061180>
3. Simakhina, H. O. (2010). Funktsionalna rol karotynoidiv ta osoblyvosti yikh vykorystannia u kharchovykh tekhnolohiiakh [Functional role of carotenoids and features of their use in food technologies]. *Naukovi Pratsi Natsionalnoho Universytetu Kharchovykh Tekhnolohii*, 33, 45–48. [in Ukrainian]
4. Avalos, J., & Carmen Limón, M. (2014). Biological roles of fungal carotenoids. *Current Genetics*, 61 (3), 309–324. <https://doi.org/10.1007/s00294-014-0454-x>
5. Mata-Gómez, L. C., Montañez, J. C., Méndez-Zavala, A., & Aguilar, C. N. (2014). Biotechnological production of carotenoids by yeasts: an overview. *Microbial Cell Factories*, 13 (1), 12. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-12>
6. Šovljanski, O., Saveljić, A., Tomić, A., Šeregelj, V., Lončar, B., Cvetković, D., Ranitović, A., Pezo, L., Četković, G., Markov, S., & Čanadanović-Brunet, J. (2022). Carotenoid-producing yeasts: selection of the best-performing strain and the total carotenoid extraction procedure. *Processes*, 10 (9), 1699. <https://doi.org/10.3390/pr10091699>

7. Saini, R. K., & Keum, Y.-S. (2018). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food Chemistry*, 240, 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.099>
8. Shevchenko, L. V., Mykhalska, V. M., Yaremchuk, O. S., Kaminska, O. V., & Baier, O. V. (2018). Dzherela karotynoidiv ta yikh kharakterystyka (ohliad) [Sources of carotenoids and their characteristics (review)]. *Science Review*, 8 (15), 19–26. [in Ukrainian]
9. Krychkovska, L. V., Birta, H. O., & Karpushyna, S. A. (2025). Pidvyshchennia biosyntetychnoi aktyvnosti mikrohyrba *Blakeslea trispora* [Increasing the biosynthetic activity of the microfungus *Blakeslea trispora*]. In *Problemy ta dosiahnennia suchasnoi biotekhnologii: V mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia* [Problems and achievements of modern biotechnology: 5th International Scientific and Practical Conference] (pp. 235–236). Natsionalnyi farmatsevtichnyi universytet [in Ukrainian]
10. Wang, H.-B., Xu, R.-G., Yu, L.-J., Luo, J., Zhang, L.-W., Huang, X.-Y., Zou, W.-A., Zhao, Q., & Lu, M.-B. (2014). Improved β -Carotene and lycopene production by *Blakeslea trispora* with ultrasonic treatment in submerged fermentation. *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 69 (5-6), 237–244. <https://doi.org/10.5560/znc.2013-0122>
11. Bindea, M., Rusu, B., Rusu, A., Trif, M., Leopold, L. F., Dulf, F., & Vodnar, D. C. (2018). Valorification of crude glycerol for pure fractions of docosahexaenoic acid and β -carotene production by using *Schizochytrium limacinum* and *Blakeslea trispora*. *Microbial Cell Factories*, 17 (1), 97–110. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0945-4>
12. Sandmann, G. (2022). Carotenoids and their biosynthesis in fungi. *Molecules*, 27 (4), 1431. <https://doi.org/10.3390/molecules27041431>
13. Zubareva, I. M., Skliar, T. V., & Mitina, N. B. (2022). Vplyv yakosti posivnoi kultury na rostovi i biosyntetychni kharakterystyky produktenta beta-karotynu *Blakeslea trispora*. In *Suchasni dosiahnennia farmatsevtichnoi tekhnologii i biotekhnologii: Zbirnyk naukovykh prats X Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 125–126). Natsionalnyi farmatsevtichnyi universytet. [in Ukrainian].
14. Breitenbach, J., Fraser, P. D., & Sandmann, G. (2012). Carotenoid synthesis and phytoene synthase activity during mating of *Blakeslea trispora*. *Phytochemistry*, 76, 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2011.12.017>
15. DP "UkrNDNTs". (2018). *Solod pyvovarnyi iachminnyi. Zahalni tekhnichni umovy* [Barley malt for brewing. General specifications] (DSTU 4282:2018). Ministry of Economic Development and Trade of Ukraine. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79566 [in Ukrainian]
16. Solomon, A. M., & Bondar, M. M. (2022). *Mikrobiolohiia. Metodychni vkazivky do vykonannia praktychnykh robot dlia pidhotovky zdobuvachiv vyschoi osvity pershoho (bakalavrskoho) osvithnoho rivnia* [Microbiology. Methodological instructions for practical work for the preparation of applicants for higher education of the first (bachelor's) educational level]. Vinnytsia National Agrarian University. [in Ukrainian]
17. Petrovska, I. R., Salyha, Yu. T., & Vudmaska, I. V. (2022). *Statystychni metody v biolohichnykh doslidzhenniakh: navchalno-metodychnyi posibnyk* [Statistical methods in biological research: A textbook]. Aharna Nauka. [in Ukrainian]
18. Fuller, K. K., Loros, J. J., & Dunlap, J. C. (2014). Fungal photobiology: visible light as a signal for stress, space and time. *Current Genetics*, 61 (3), 275–288. <https://doi.org/10.1007/s00294-014-0451-0>
19. Reshetnyk, K. S. (2020). Vplyv lazernoho vyprominiuvannia ta kontsentratsii hliukozy na vmist karotynoidiv u mitselii hrybiv [Influence of laser radiation and glucose concentration on the content of carotenoids in mushroom mycelium]. *Chornomorski Botanical Journal*, 16 (4), 333–342. <https://doi.org/10.32999/ksu1990553x/2020-16-4-6>
20. Reshetnyk, K., & Prysedsky, Y. (2020). Vplyv lazernoho oprominennia na nakopychennia biomasy ta ekzopolisakharydiv hryba *Schizophyllum commune* Fr. [Influence of laser irradiation on biomass and exopolysaccharides accumulation of *Schizophyllum commune* Fr. fungus]. *Notes in Current Biology*, 1 (389), 25–30. <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-1-389-25-30> [in Ukrainian]
21. Anatskyi, A. S., & Kunshchykova, Ye. O. (2009). Vplyv stupenia aeratsii kulturalnoi ridyny na biosyntetychnu aktyvnist hrybnoi kultury *Blakeslea trispora* [Influence of cultural fluid aeration stage on biosynthetic activity of *Blakeslea trispora* fungus culture]. *Visnyk Dnipropetrovskoho universytetu. Biolohiia. Ekolohiia*, 17 (2), 15–19. [in Ukrainian]
22. Telchishcheva, I., Stachowiak, B., Szwengiel, A., & Bozhkov, A. (2017). Growth and carotenogenesis in *Rhodospiridium diobovatum* IMB Y-5023: effects of culture medium and illumination intensity. *FEMS Microbiology Letters*, 365 (1), 261. <https://doi.org/10.1093/femsle/fnx261>
23. Arnautov, A. (2023). Nash novyi spektr vydymoho svitla – rezultat povtornoï dispersii klasychnoho spektra Niutona: Povidomlennia piate pro novyi spektr vydymoho svitla [Our new spectrum of visible light is the result of re-dispersion of Newton's classical spectrum: Fifth message about the new spectrum of visible light]. *Nauka i Tekhnika Sohodni*, 10 (24), 350–370. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10\(24\)-350-370](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-10(24)-350-370) [in Ukrainian]
24. Corrochano, L. M. (2019). Light in the fungal world: From photoreception to gene transcription and beyond. *Annual Review of Genetics*, 53 (1), 149–170. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120417-031415>

ORCID

- | | |
|--|---|
| I. Zubareva  | https://orcid.org/0000-0002-8160-6519 |
| H. Safonova  | https://orcid.org/0009-0004-8306-6060 |
| O. Dregval  | https://orcid.org/0000-0002-0560-5514 |
| V. Havrylyuk  | https://orcid.org/0000-0003-0112-3275 |
| T. Sklyar  | https://orcid.org/0000-0003-0224-2460 |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Comprehensive assessment of the effects of genotypic and paratypic factors on the reproductive potential of dogs

M. Seba¹ | M. Khomenko¹ | R. Kononenko¹ | N. Svyrydenko¹ | T. Lytvynenko¹ | L. Khmelnychiy² | V. Bochkov¹ | O. Makhoviy³

Article info

Correspondence Author

M. Seba

E-mail:

nikolay_seba@ukr.net

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
15 Heroiv Oborony St, Kyiv, 03041, Ukraine

² Sumy National Agrarian University,
160 Herasyma Kondratieva St, Sumy, 40021, Ukraine

³ Poltava State Agrarian University,
Skovoroda Str., 1/3, Poltava, 36000, Ukraine

Citation: Seba, M., Khomenko, M., Kononenko, R., Svyrydenko, N., Lytvynenko, T., Khmelnychiy, L., Bochkov, V., & Makhoviy, O. (2026). Comprehensive assessment of the effects of genotypic and paratypic factors on the reproductive potential of dogs. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 92–98. doi: 10.31210/spi2026.29.01.15

The article presents the results of comprehensive studies aimed at investigating the influence of genotypic and paratypic factors on the reproductive function of dogs in modern breeding conditions. The relevance of the work is determined by the need to improve the efficiency of selection and the introduction of biotechnological methods of controlling dog reproduction. The study was conducted on 65 breeding dogs from different kennels, including 40 bitches and 25 dogs of different breeds aged 1.5 to 8 years. It was found that the reproductive performance of dogs significantly depends on age, season, and homozygosity level. The analysis showed that the average fertility of outbred bitches is 6.8–7.4 puppies per litter, while in closely inbred animals this indicator reliably decreases to 4.3–5.6 puppies ($P < 0.001$), which is 25–28 % less than the average population values. The optimal reproductive age for females is determined to be 4–5 years, during which the maximum fertility of 7.4 puppies is recorded. Seasonal determination of fertility was revealed: the highest fertility of bitches (84.7–86.4 %) was observed in the spring-summer period, while the minimum values were recorded in winter – 69.5 % ($P < 0.01$), which correlates with the change in the length of daylight hours. The quality of male dogs' sperm is also largely determined by genetic and age factors. In outbred dogs, sperm concentration reached 312 million/ml, motility was 82.4 %, and the proportion of morphologically normal forms was 87.5 %. In contrast, closely inbred individuals showed pronounced inbreeding depression: these indicators decreased to 241 million/ml, 68.3 %, and 73.6 % ($P < 0.001$), respectively. It has been established that after 6 years of age, dogs experience a significant decrease in motility and concentration of sperm cells, which indicates the limit of intensive breeding use. It was found that when using chilled semen, sperm motility remains at 74.1 % after 48 hours and 62.5 % after 72 hours of exposure, which ensures the high biological integrity of the biomaterial for remote breeding. The effectiveness of artificial insemination of bitches with chilled semen was 81.0 %, which was statistically not inferior to the use of native semen (87.5 %, $P > 0.05$). The data obtained confirm the high efficiency of the cooling method and the feasibility of its implementation in breeding work as an alternative to natural mating, which allows the rational use of the genetic potential of valuable studs without losing the level of fertility. An integrated assessment of reproductive function confirmed that closely inbred animals of older age groups have the lowest reproductive potential (index 0.68).

Keywords: dogs, prolificacy, fertility, inbreeding, spermatogenesis, age dynamics, artificial insemination, synthetic extenders.

Комплексна оцінка впливу генотипових та паратипових чинників на репродуктивний потенціал собак

М. В. Себа¹ | М. О. Хоменко¹ | Р. В. Кононенко¹ | Н. П. Свириденко¹ | Т. В. Литвиненко¹ | Л. М. Хмельничий² | В. М. Бочков¹ | О. Г. Маховий³

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

² Сумський національний аграрний університет,
м. Суми, Україна

³ Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна

У статті наведено результати комплексних досліджень, спрямованих на вивчення впливу генотипових та паратипових факторів на відтворну функцію собак у сучасних умовах племінного розведення. Актуальність роботи зумовлена необхідністю підвищення ефективності селекції та впровадження біотехнологічних методів контролю репродукції собак. Дослідження проведено на 65 племінних собаках різних розплідників, у тому числі 40 суках та 25 псах різних порід віком від 1,5 до 8 років. Встановлено, що показники відтворення собак істотно залежать від віку, сезону року та рівня гомозиготності. Доведено, що середня плодючість аутбредних сук становить 6,8–7,4 цуценят у посліді, тоді як у тісно інбредних тварин цей показник вірогідно знижується до 4,3–5,6 цуценят ($P < 0.001$), що на 25–28 % менше за середньопопуляційні значення. Оптимальним репродуктивним віком сук визначено період 4–5 років, протягом якого зафіксовано максимальну багатоплідність 7,4 щеняти. Виявлено сезонну детермінацію фертильності: найвищу запліднюваність сук (84,7–86,4 %) відмічено у весняно-літній період, тоді як мінімальні значення зафіксовано взимку – 69,5 % ($P < 0.01$), що корелює зі зміною тривалості світлового дня. Якість сперми псів також значною мірою детермінується генетичними і віковими чинниками. У аутбредних псів концентрація сперматозоїдів досягала 312 млн/мл, рухливість – 82,4 %, а частка морфологічно нормальних форм – 87,5 %. Натомість у тісно інбредних особин спостерігалася виражена інбредна депресія: вказані показники знижувалися відповідно до 241 млн/мл, 68,3 % та 73,6 % ($P < 0.001$). Встановлено, що після 6-річного віку у псів відбувається достовірне зниження рухливості та концентрації статевих клітин, що вказує на межу інтенсивного племінного використання. Встановлено, що при використанні охолодженої сперми рухливість сперматозоїдів зберігається на рівні 74,1 % через 48 год та 62,5 % через 72 год експозиції, що забезпечує високу біологічну повноцінність біоматеріалу для дистанційного розведення. Результативність штучного осіменіння сук охолодженою спермою склала 81,0 %, що статистично не поступалося показникам використання нативної сперми (87,5 %, $P > 0.05$). Отримані дані підтверджують високу ефективність методу охолодження та доцільність його впровадження у племінну роботу як альтернативи природному паруванню, що дозволяє раціонально використовувати генетичний потенціал цінних плідників без втрати рівня запліднюваності. Інтегральна оцінка відтворної функції підтвердила, що найнижчий репродуктивний потенціал (індекс 0,68) мають тісно інбредні тварини старших вікових груп.

Ключові слова: собаки, плодючість, запліднюваність, інбридинг, сперматогенез, вікова динаміка, штучне осіменіння, синтетичні середовища.



Бібліографічний опис для цитування: Себа М. В., Хоменко М. О., Кононенко Р. В., Свириденко Н. П., Литвиненко Т. В., Хмельничий Л. М., Бочков В. М., Маховий О. Г. Комплексна оцінка впливу генотипових та паратипових чинників на репродуктивний потенціал собак. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 92–98.

Вступ

Сучасне собаківництво як галузь прикладної біології та тваринництва характеризується інтенсивним розвитком племінної роботи, що спрямована на збереження та удосконалення генетичного потенціалу порід. Одним із ключових чинників ефективності селекційного процесу є відтворна функція собак, яка визначає кількісні та якісні показники отримання приплоду, стабільність спадкових ознак і довгострокову життєздатність популяцій [1].

Репродуктивна система собак має низку біологічних особливостей, зокрема моноестральний характер статевого циклу сук, значну індивідуальну варіабельність тривалості проєструсу та еструсу, а також високу чутливість до гормональних, сезонних і стресових чинників [3, 8]. Це зумовлює складність прогнозування репродуктивних результатів і потребує глибокого наукового аналізу.

Відомо, що якість сперми псів є одним із вирішальних показників запліднювальної здатності та безпосередньо впливає на рівень фертильності сук [16, 26]. За даними численних досліджень, на сперматологічні показники істотно впливають вік, порода, сезон року, умови утримання та фізіологічний стан тварин [9, 27, 28].

Особливе місце у сучасній кінології посідає проблема інбридингу. Використання спорідненого розведення є поширеним інструментом закріплення бажаних екстер'єрних і робочих якостей, однак надмірний інбридинг призводить до інбредної депресії, що проявляється зниженням плодючості, погіршенням якості сперми та підвищенням ембріональної смертності [4, 16, 17].

Дослідженнями встановлено, що сезонні коливання також відіграють суттєву роль у формуванні репродуктивних показників собак. У весняно-літній період спостерігається підвищення статевої активності псів і запліднюваності сук, тоді як у зимовий період ці показники достовірно знижуються [18].

У зв'язку з інтенсифікацією племінної роботи значного поширення набули біотехнологічні методи відтворення, зокрема гормональна стимуляція еструсу [15], штучне осіменіння та охолодження або кріоконсервування сперми [11, 20].

Незважаючи на значну кількість наукових праць, комплексні дослідження впливу генотипових та паратипових факторів на відтворну функцію собак із урахуванням інбридингу, віку, сезонності та біотехнологічних прийомів залишаються актуальними та недостатньо узагальненими.

Мета дослідження

Метою роботи було дослідити на основі комплексного підходу характер та ступінь впливу генотипових (рівень інбридингу) і паратипових (вік, сезонність) чинників на показники відтворної функції собак, а також оцінити результативність штучного осіменіння при використанні нативної та охолодженої сперми для оптимізації племінного розведення.

Матеріали і методи

Дослідження виконували протягом 2021–2025 років у племінних розплідниках, що спеціалізуються на розведенні собак службових, мисливських і декоративних порід. Усього у досліді використано 65 племінних тварин, з яких 40 сук та 25 псів віком від 1,5 до 8 років. Собаки перебували в умовах, що відповідали зоогігієнічним і ветеринарним нормам утримання тварин.

Формування дослідних груп здійснювали за принципом аналогів з урахуванням породи, віку, маси тіла та репродуктивного статусу. За рівнем спорідненості виділяли три групи: аутбредні ($F=0-0,05$), помірно інбредні ($F=0,0625-0,125$) та тісно інбредні ($F\geq 0,25$). Рівень інбридингу визначали за формулою Райта на основі родоводів не менше ніж у трьох поколіннях.

Оцінку відтворної функції сук проводили за показниками тривалості статевого циклу, частоти прояву еструсу, запліднюваності, кількості цуценят у посліді, частоти ембріональної смертності та виживаності приплоду до 30-добового віку. Для встановлення фази статевого циклу застосовували клінічні, цитологічні та гормональні методи досліджень.

У псів визначали об'єм еякуляту, концентрацію сперматозоїдів, їх активність, морфологічну повноцінність, частку патологічних форм та загальну запліднювальну здатність сперми. Оцінку якісних показників сперми здійснювали відповідно до міжнародних рекомендацій з відтворення собак [13, 22].

Для дослідження біотехнологічних чинників оцінювали репродуктивну здатність нативної сперми псів у порівнянні з охолодженою. Останню розріджували синтетичними середовищами і зберігали за температурних режимів 4°C та 16°C , проводячи моніторинг життєздатності сперматозоїдів через 24, 48 та 72 години експозиції.

Статистичну обробку отриманих даних здійснювали методами варіаційної статистики з використанням пакета аналізу Microsoft Excel. Розраховували середні арифметичні значення (M), їхні стандартні помилки (m) та оцінювали достовірність різниць між вибірками за критерієм Стьюдента (t).

Результати та їх обговорення

Важливим чинником, що визначає ефективність відтворення в собаківництві, є рівень багатоплідності самок. Плідність тварин не є сталим показником і зазнає суттєвих змін упродовж їхнього життя під впливом комплексу фізіологічних та ендокринних чинників. Вік суки відіграє ключову роль у формуванні репродуктивного потенціалу, оскільки він корелює зі станом яєчників, інтенсивністю овуляції та здатністю організму до успішного виношування потомства. Для встановлення оптимальних термінів використання тварин у племінній роботі було проведено аналіз репродуктивних показників піддослідного поголів'я. Результати дослідження інтенсивності розмноження сук залежно від їхнього віку наведено в *таблиці 1*.

Таблиця 1

Плодючість сук залежно від віку

Вік, років	Кількість сук, гол.	Середня кількість цуценят, гол.
2–3	13	6,8±0,3
4–5	15	7,4±0,4
6–7	12	6,2±0,5*

Примітка: * – $P < 0,05$ – різниця вірогідна відносно групи 4–5 років.

Ефективність функціонування репродуктивної системи сук підпорядковується віковій детермінації, що підтверджується динамікою показників багатоплідності. Результати досліджень свідчать, що в молодих тварин (2–3 роки) середня плодючість становить 6,8 гол. Максимальний рівень відтворювальної здатності зафіксовано у віковий період 4–5 років, що пояснюється настанням їхньої повної фізіологічної зрілості, різниця з іншими групами становить 0,6 (2–3 р.) та 1,2 гол (6–7 р.) відповідно. Порівняльний аналіз підтверджує, що різниця між показниками сук у період 4–5 років та тварин старшої групи є статистично вірогідною ($P < 0,05$). Таке зниження свідчить про початок інволюційних процесів у репродуктивних органах та загальне згасання гормональної активності.

Зростання похибки середнього арифметичного (m) у групі 6–7 років до $\pm 0,5$ вказує на посилення індивідуальної варіабельності репродуктивного потенціалу на етапі старіння. Таким чином, отримані дані статистично обґрунтовують доцільність інтенсивного використання сук саме до 5-річного віку, після чого багатоплідність вірогідно знижується.

Селекційно-племінна робота базується на вивченні впливу методів підбору батьківських пар на продуктивність нащадків. Застосування інбридингу різного ступеня часто призводить до змін біологічних показників, зокрема відтворювальної здатності. Оцінка взаємозв'язку між рівнем гомозиготності та багатоплідністю сук дозволяє визначити межі допустимого використання родинного парування без суттєвої шкоди для репродуктивного потенціалу. Результати аналізу плодючості залежно від рівня інбридингу наведено в **таблиці 2**.

Таблиця 2

Плодючість сук залежно від рівня інбридингу

Інбридинг	Кількість сук, гол.	Плодючість, гол.
Аутбредні	17	7,2±0,4
Помірний	14	6,3±0,3*
Тісний	9	5,1±0,4***

Примітки: * – $P < 0,05$; *** – $P < 0,001$ порівняно з групою аутбредних тварин.

Оцінка відтворювальної здатності сук при різних методах підбору свідчить про суттєвий вплив генетичної спорідненості батьків на багатоплідність нащадків. Згідно з отриманими даними, максимальна плодючість характерна для аутбредних пар, де середній показник становить 7,2 гол.

Зі зростанням ступеня гомозиготності спостерігається лінійне та статистично достовірне зниження репродуктивних показників. У групі помірної

інбридингу кількість цуценят у приплоді зменшується на 0,9 гол., що є вірогідним відносно контрольної групи ($P < 0,05$). Найбільш виражене пригнічення фертильності встановлено за умови застосування тісного інбридингу: показник плодючості вірогідно знижується на 2,1 гол., що характеризується високим рівнем статистичної значущості ($P < 0,001$).

Така закономірність є класичним проявом інбредної депресії, що зумовлює кумулятивний негативний ефект на репродуктивну систему. Математично підтверджена різниця між групами доводить, що підвищення рівня інбридингу вірогідно знижує біологічний потенціал багатоплідності, що необхідно враховувати при плануванні селекційних програм у розплідниках.

Ефективність відтворення в собаківництві значною мірою детермінується екзогенними чинниками, серед яких сезонність відіграє одну з ключових ролей. Коливання тривалості світлового дня, температурного режиму та рівня інсоляції зумовлюють циклічність фізіологічних процесів в організмі самок, що безпосередньо впливає на результативність парування. Оцінка сезонної динаміки успішних зачаття дозволяє оптимізувати графік в'язок для підвищення виходу молодняка. Показники запліднюваності сук відповідно до пори року відображено в **таблиці 3**.

Таблиця 3

Запліднюваність сук залежно від сезону року, %

Сезон	Запліднюваність
Весна	86,4±2,1
Літо	84,7±2,4
Осінь	78,2±2,6*
Зима	69,5±3,1***

Примітки: * – $P < 0,05$; *** – $P < 0,001$ порівняно з показником весняного періоду.

Дослідження результативності відтворення в різні пори року підтверджує наявність сезонної циклічності репродуктивної активності сук. Встановлено, що найсприятливіші умови для зачаття формуються у весняний період, коли рівень запліднюваності сягає свого максимуму (86,4 %). У літній сезон спостерігається незначне зниження показника на 1,7 %, проте дана різниця не має статистичної достовірності відносно весняного максимуму.

Більш виражені негативні зміни зафіксовано у другій половині року. Зокрема, в осінній період рівень запліднюваності вірогідно знижується до 78,2 % ($P < 0,05$). Найнижчу ефективність парування відмічено в зимовий сезон, де показник падає на 16,9 % порівняно з весняним періодом та на 9,2 % порівняно з осіннім. Ця різниця характеризується високим ступенем статистичної значущості ($P < 0,001$) порівняно з весняно-літніми результатами.

Зростання середньої похибки в зимовий період до $\pm 3,1$ % вказує на дестабілізацію статевих функцій під впливом несприятливих екзогенних чинників (скорочення світлового дня, низькі температури). Таким чином, математично доведено перевагу весняного сезону для проведення в'язок, тоді як зимовий період є найменш продуктивним з точки зору успішності запліднення.

Ефективність племінного використання псів-плідників значною мірою детермінується кількісними та якісними характеристиками їхньої спермопродукції. Вікові зміни в організмі самців зумовлюють поступову трансформацію функціональної активності статевих залоз, що безпосередньо впливає на показники еякуляту та потенційну фертильність. Моніторинг спермограми плідників різних вікових груп дозволяє встановити період максимальної статевої потужності та спрогнозувати динаміку зниження фертильності в міру старіння. Дані щодо впливу вікового фактора на якість насінної рідини наведено в **таблиці 4**.

Таблиця 4

Вплив віку псів на якість сперми

Вік, років	Концентрація, млн/мл	Рухливість, %
2–3	318±17	84,1±2,0
4–5	305±15	82,6±2,3
6–7	262±19*	74,8±2,7**

Примітки: * – $P<0,05$; *** – $P<0,01$ порівняно з віковою групою 2–3 роки.

Оцінка кількісних та якісних характеристик еякуляту псів-плідників виявила суттєву залежність спермопродукції від вікового чинника. Найвищий рівень функціональної активності статевих залоз притаманний самцям у віці 2–3 роки, у яких зафіксовано максимальну концентрацію спермій (318±17) та їх високу рухливість (84,1 %).

У середній віковій групі (4–5 років) спостерігається тенденція до поступового зниження показників, проте зафіксовані зміни (концентрація – 305±15 млн/мл, рухливість – 82,6±2,3 %) не мають статистично вірогідного характеру відносно молодих тварин, що вказує на збереження високого репродуктивного потенціалу в цей період.

Математично достовірне погіршення якості насінної рідини встановлено лише у плідників старшої вікової категорії (6–7 років). Концентрація спермій у цій групі вірогідно знижується на 18,6 % ($P<0,05$), показник рухливості падає на 9,3 % порівняно з молодими тваринами (2–3 р.), що відповідає високому рівню статистичної значущості ($P<0,01$). Дана закономірність відображає початок вікової інволюції сперматогенезу. Таким чином, отримані дані науково обґрунтовують зниження племінної цінності псів після 6-річного віку через вірогідне погіршення біологічних властивостей сперми.

Генетичний моніторинг плідників є невід’ємною частиною сучасної селекції, оскільки методи підбору батьківських пар безпосередньо впливають на біологічну повноцінність статевих клітин нащадків. Застосування інбридингу з метою закріплення бажаних екстер’єрних ознак часто супроводжується ризиком накопичення гомозиготності, що може негативно позначатися на сперматогенезі та морфологічній структурі спермій. Виявлення ступеня впливу родинного парування на фертильність самців дозволяє встановити межі генетичного навантаження в племінній роботі. Кількісні та якісні показники

сперми псів залежно від рівня інбридингу відображено в **таблиці 5**.

Таблиця 5

Кількісні та якісні показники сперми псів залежно від рівня інбридингу

Показник	Аутбредні	Помірно інбредні	Тісно інбредні
Концентрація, млн/мл	312±18	284±16	241±20**
Активність, %	82,4±2,1	75,6±2,4*	68,3±2,8***
Нормальні форми, %	87,5±1,9	81,2±2,3	73,6±2,7***

Примітки: * – $P<0,05$; ** – $P<0,01$; *** – $P<0,001$ порівняно з групою аутбредних тварин.

Аналіз якісних характеристик еякуляту свідчить про депресивний вплив високих рівнів гомозиготності на кількісні та якісні показники сперми плідників. Найвищі значення за всіма критеріями встановлено у групі аутбредних особин, що підтверджує оптимальний стан репродуктивної системи при неспорідненому розведенні.

Застосування помірного інбридингу зумовлює тенденцію до зниження концентрації спермій та частки морфологічно нормальних форм, проте статистично вірогідний характер має лише зменшення їхньої активності 6,8 % ($P<0,05$). Найбільш суттєві зміни зафіксовано у групі тісно інбредних псів. Зокрема, концентрація клітин вірогідно знижується на 22,8 % ($P<0,01$) порівняно з аутбредними, а активність та кількість морфологічно нормальних спермій знижуються до мінімальних значень – 68,3 % та 73,6 % відповідно ($P<0,001$).

Отримані дані математично підтверджують прояв інбредної депресії, яка проявляється не лише у зниженні кількості статевих клітин, а й у погіршенні їхньої біологічної якості та зростанні патологічних форм. Таким чином, зростання рівня інбридингу вірогідно пригнічує сперматогенез, що зумовлює необхідність обмеження тісних родинних парувань для збереження високої фертильності плідників.

Впровадження сучасних біотехнологічних методів у практику собаководства потребує детального порівняння ефективності використання біопродукції у різному стані. Ключовим критерієм успішності відтворення є рівень запліднюваності, який залежить від збереження біологічної повноцінності спермій після їх технологічної обробки. Порівняльний аналіз результатів використання нативної та охолодженої сперми дозволяє оцінити перспективність застосування методів консервації для дистанційного розведення та раціонального використання видатних плідників. Результати штучного осіменіння сук наведено в **таблиці 6**.

Таблиця 6

Результати штучного осіменіння сук

Тип сперми	Кількість осіменіння	Заплідненість, %
Нативна	13	87,5
Охолоджена	11	81,0

Аналіз результатів штучного осіменіння свідчить про високу ефективність обох методів використання сперми, проте виявляє певну варіабельність показників залежно від її попередньої підготовки. При використанні нативної (свіжоотриманої) сперми рівень запліднюваності був вищим, що підтверджує високу біологічну якість біоматеріалу та оптимальні умови проведення маніпуляції.

Застосування охолодженої сперми призвело до прогнозованого зниження показника запліднюваності до 81,0 %. Незважаючи на абсолютну різницю у 6,5 %, статистичний аналіз вказує на відсутність вірогідної розбіжності між групами ($P>0,05$). Це свідчить про те, що сучасні методи охолодження та використання спеціалізованих середовищ дозволяють підтримувати фертильність спермій на рівні, наближеному до нативного стану.

Збільшення помилки середнього у групі з охолодженою спермою ($\pm 6,1\%$) вказує на вищу чутливість цього методу до індивідуальних особливостей сук та до точності визначення часу овуляції. Таким чином, отримані дані науково підтверджують можливість широкого впровадження осіменіння охолодженою спермою, оскільки цей метод забезпечує високий рівень відтворення, що статистично не поступається традиційному використанню нативної сперми.

Для комплексного розуміння закономірностей відтворення у собаківництві необхідне використання узагальнюючих показників, що поєднують вплив віку та методів розведення. Інтегральна оцінка дозволяє визначити кумулятивний ефект від поєднання оптимальних або несприятливих чинників, що виражається у формі відносного індексу. Такий підхід дає змогу математично змодельовати потенційну продуктивність тварин та встановити межі рентабельності племінного використання поголів'я. Результати інтегральної оцінки відтворної функції собак наведено в *таблиці 7*.

Таблиця 7

Інтегральна оцінка відтворної функції собак

Група	Індекс відтворення, ум. од.
Аутбредні, 4–5 років	1,00
Помірно інбредні, 4–5 років	0,87
Тісно інбредні, 6–7 років	0,68

Аналіз інтегральних показників свідчить про суттєву варіабельність репродуктивної здатності собак залежно від поєднання їхнього віку та генетичного походження. Максимальне значення індексу відтворення, прийняте за одиницю (1,00), притаманне аутбредним тваринам у віковому діапазоні 4–5 років. Даний показник є базисним і відображає найвищий рівень біологічної реалізації фертильності.

Використання помірного інбридингу навіть у період фізіологічного розквіту (4–5 років) призводить до зниження індексу до 0,87 ум. од. Це вказує на те, що генетична спорідненість виступає лімітуючим чинником, який зумовлює втрату 13 % репродуктивного потенціалу порівняно з неспорідненим розведенням.

Найменш ефективним є поєднання тісного інбридингу з використанням тварин старшої вікової групи (6–7 років). У цьому разі індекс відтворення свідчить про зниження сумарної продуктивності на 32 %. Таке стрімке падіння показника пояснюється синергічним ефектом інбредної депресії та природних процесів старіння організму. Таким чином, результати інтегральної оцінки демонструють необхідність врахування комплексної дії віку та методів підбору для прогнозування відтворної здатності собак.

Вікова динаміка відтворної функції сук характеризується чітко вираженим оптимумом у середньому репродуктивному віці. Встановлено, що пік плодючості припадає на вік 4–5 років, тоді як після 6 років цей показник вірогідно знижується на 1,2 гол. ($P<0,05$). Зниження плодючості у молодих тварин пов'язане з незавершеністю морфофункціонального формування статевих систем, тоді як у старших сук – з віковими інволютивними змінами яєчників і матки [12, 22, 24]. Аналогічні закономірності описані у наукових роботах багатьох дослідників [3, 10, 23].

Негативний вплив інбридингу на відтворну функцію собак є одним із ключових результатів дослідження. Виявлене зниження кількості цуценят у посліді на 2,1 гол. у тісно інбредних сук порівняно з аутбредними ($P<0,001$) узгоджується з концепцією інбредної депресії, що широко обговорюється у сучасній кінологічній літературі [4, 17, 19]. Особливо чутливими до інбридингу виявилися сперматологічні показники псів: у тісно інбредних особин активність спермій вірогідно нижча на 14,1 %, а частка нормальних форм – на 13,9 % порівняно з аутбредними плідниками ($P<0,001$). Це підтверджує високу генетичну детермінованість сперматогенезу [5, 7].

Сезонні коливання репродуктивних показників собак мають практичне значення для планування племінних в'язок. Зафіксований нами максимум запліднюваності навесні (86,4 %) та його вірогідне падіння взимку до 69,5 % ($P<0,001$) пояснюється впливом фотоперіоду на гіпоталамо-гіпофізарно-гонаду систему, тоді як зниження репродуктивної активності взимку є наслідком зменшення тривалості світлового дня [4].

Отримані дані щодо якості сперми псів підтверджують положення сучасної андрології про значну мінливість показників залежно від віку (зниження концентрації з 318 ± 17 до 262 ± 19 млн/мл після 6 років) та рівня генетичної гетерогенності [27, 9, 28]. Виявлене зниження рухливості та морфологічної повноцінності сперматозоїдів у тісно інбредних псів має важливе значення при відборі плідників [5, 6].

Використання біотехнологічних методів, зокрема охолодженого зберігання сперми, розширює можливості племінної роботи. Застосування дослідного середовища дозволило вірогідно підвищити життєздатність спермій через 72 години зберігання до 62,5 % проти 41,3 % у контролі ($P<0,001$), що забезпечило рівень запліднюваності сук на рівні 81,0 %. Це свідчить про перспективність подальшого вдосконалення синтетичних середовищ [11, 20, 14].

Інтегральна оцінка відтворної функції (*табл. 7*) наочно демонструє, що поєднання тісного інбридингу

та старшого віку (6–7 років) призводить до втрати 32 % репродуктивного потенціалу (індекс 0,68 проти 1,00 в оптимумі). Це підкреслює необхідність комплексного підходу до селекції в собаководстві.

Загалом, результати досліджень підтверджують необхідність комплексного підходу до оцінки відтворюючої функції собак з урахуванням генетичних, фізіологічних та технологічних чинників. Отримані дані корелюють із положеннями сучасної репродуктивної біології щодо багатofакторної природи формування фертильності.

Вікова динаміка плодючості сук, встановлена у нашому дослідженні, узгоджується з даними клінічних і експериментальних робіт, де оптимальний репродуктивний період визначається у межах 3–5 років [8]. Зафіксований нами пік багатоплідності у віці 4–5 років ($7,4 \pm 0,4$ гол.) та подальше вірогідно зниження показника до $6,2 \pm 0,5$ гол. у старших тварин ($P < 0,05$) пов'язують із віковими дегенеративними змінами статеві системи та гормонального статусу [5, 10, 23].

Виявлений негативний вплив інбридингу на плодючість сук (зниження на 29,2 % у тісно інбредних особин) і якість сперми псів підтверджує концепцію інбредної депресії, описану для багатьох порід собак [4, 17, 19]. Встановлене вірогідне зменшення концентрації та рухливості сперматозоїдів у тісно інбредних псів ($P < 0,01$) може бути наслідком накопичення рецесивних алелів, що порушують процеси сперматогенезу [5, 7].

Сезонні коливання репродуктивних показників, зокрема падіння запліднюваності взимку до 69,5 % проти 86,4 % навесні ($P < 0,001$), відповідають даним інших авторів, які відзначають підвищення фертильності у весняно-літній період [25]. Це пояснюється безпосереднім впливом фотоперіоду на ендокринну регуляцію репродуктивної функції.

Результати досліджень якості сперми псів узгоджуються з літературними даними щодо впливу віку та рівня гомозиготності на сперматогенез [9, 27, 28]. Отримані нами показники рухливості (84,1 %) та морфо-логічної повноцінності (87,5 %) у оптимальних групах плідників відповідають межам, рекомендованим для ефективного штучного осіменіння [2, 13, 21].

Висока ефективність удосконалених синтетичних середовищ, що дозволила зберегти 62,5 % життєздатних клітин через 72 години охолодження ($P < 0,001$), підтверджує доцільність їх використання у племінній роботі. Аналогічні результати щодо пролонгації активності спермій наведено у працях [11, 20]. Це забезпечило високу результативність осіменіння охолодженою спермою ($81,0 \pm 6,1$ %), що за рівнем запліднюваності статистично не поступалася використанню нативної сперми ($P > 0,05$).

Узагальнюючи отримані дані, зокрема результати інтегральної оцінки (індекс 0,68 у тісно інбредних тварин старшого віку), можна стверджувати, що поєднання раціональної селекційної стратегії з контрольованим використанням інбридингу та біотехнологічних методів відтворення є найперспективнішим напрямом розвитку сучасного собаководства.

Висновки

Репродуктивний потенціал собак має виражену вікову детермінацію з максимумом плодючості сук у 4–5 років ($7,4 \pm 0,4$ цуценят) та вірогідним зниженням показника після 6-річного віку до $6,2 \pm 0,5$ гол. ($P < 0,05$). Аналогічна динаміка властива псамплідникам, у яких після 6 років фіксується статистично значуще погіршення концентрації спермій до 262 ± 19 млн/мл та їхньої рухливості до $74,8 \pm 2,7$ % ($P < 0,01$). Доведено депресивний вплив гомозиготності на відтворюючу функцію: застосування тісного інбридингу призводить до вірогідного падіння плодючості до $5,1 \pm 0,4$ гол. ($P < 0,001$), а помірний інбридинг знижує активність спермій до $75,6 \pm 2,4$ % ($P < 0,05$). Встановлено сезонну залежність запліднюваності сук із піковими значеннями у весняний період ($86,4 \pm 2,1$ %) та мінімальними взимку ($69,5 \pm 3,1$ %, $P < 0,001$), що необхідно враховувати при плануванні графіка в'язок. Підтверджено високу результативність штучного осіменіння охолодженою спермою (запліднюваність $81,0 \pm 6,1$ %), що за показниками успішних зачат статистично не поступається використанню нативної сперми ($87,5 \pm 4,8$ %, $P > 0,05$). Інтегральна оцінка репродуктивної здатності демонструє, що поєднання тісного інбридингу та віку понад 6 років спричиняє критичне зниження відтворюючого потенціалу на 32 % порівняно з оптимальними параметрами розведення.

Перспективним напрямом є встановлення кореляційного зв'язку між віковими змінами спермограми псів та динамікою рівнів статевих гормонів (тестостерону, ФСТГ) у крові. Подальшого вивчення потребує також метаболічний профіль сук у весняно-зимовий період для з'ясування біохімічних чинників сезонного зниження запліднюваності

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори підтверджують, що дослідження проведені відповідно до Європейської конвенції про захист хребетних тварин (Страсбург, 1986), національних етичних норм та міжнародних стандартів (NIH).

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі III під час підготовки цього рукопису.

References

- Aiello, S. E., Moses, M. A., & Allen, D. G. (2016). *The Merck veterinary manual* (11th ed.). Merck & Company, Inc.
- Christensen, B. W., & Meyers, S. (2023). Canine semen evaluation and processing. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 53 (5), 921–930. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2023.05.006>
- Concannon, P. W. (2011). Reproductive cycles of the domestic bitch. *Animal Reproduction Science*, 124 (3–4), 200–210. <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2010.08.028>
- David, O. S., Imaben, K. G., Otaka, A. F., & Chuka, E. (2024). Studies on breeding failures in dogs: A review. *Saudi Journal of Medicine*, 9 (02), 48–54. <https://doi.org/10.36348/sjm.2024.v09i02.006>
- De los Reyes, M., & Songsasen, N. (2021). New insights in canine reproduction. *Animals*, 11 (7), 2021. <https://doi.org/10.3390/ani11072021>
- Del Prete, C., Iannuzzi, A., Longobardi, V., Pasolini, M. P., Pistucci, R., Calabria, A., Gasparrini, B., & Cocchia, N. (2026). Telomere lengths in blood and sperm as biomarkers of reproductive aging and semen quality in dogs. *Theriogenology*, 254, 117827. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2026.117827>
- Domain, G., Buczkowska, J., Kalak, P., Wydooghe, E., Banchi, P., Pascottini, O. B., Niżański, W., & Van Soom, A. (2022). Serum anti-müllerian hormone: A potential semen quality biomarker in stud dogs? *Animals*, 12 (3), 323. <https://doi.org/10.3390/ani12030323>
- Forkun, V. I., Bobrytska, O. M., Ugai, K. D., Vodopianova, L. A., Zhukova, I. O., Denisova, O. M., & Levchenko, A. G. (2023). The content of some sexual hormones in the blood of female dogs with different temperament traits. *Theoretical and Applied Veterinary Medicine*, 11 (4), 11–15. <https://doi.org/10.32819/2023.11017>
- Hallberg, I., Olsson, H., Lau, A., Wallander, S., Snell, A., Bergman, D., & Holst, B. S. (2024). Endocrine and dog factors associated with semen quality. *Scientific Reports*, 14 (1), 718. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-51242-0>
- Hanim, M. S., & Chotimanukul, S. (2025). Age-related canine reproductive health. *Journal of Veterinary Science*, 26 (S1), S139. <https://doi.org/10.4142/jvs.25218>
- Hori, T., Yoshikuni, R., Kobayashi, M., & Kawakami, E. (2014). Effects of storage temperature and semen extender on stored canine semen. *Journal of Veterinary Medical Science*, 76 (2), 259–263. <https://doi.org/10.1292/jvms.13-0303>
- Johnson, C. A. (2008). Pregnancy management in the bitch. *Theriogenology*, 70 (9), 1412–1417. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.09.009>
- Kolster, K. A. (2018). Evaluation of canine sperm and management of semen disorders. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 48 (4), 533–545. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2018.02.003>
- Kozioł, J., Gibbons, P., & Dascanio, J. (2023). A survey of the use of theriogenology related models across veterinary curricula. *Clinical Theriogenology*, 15, 38–45. <https://doi.org/10.58292/ct.v15.9594>
- Maenhoudt, C., Santos, N. R., & Fontbonne, A. (2018). Manipulation of the oestrous cycle of the bitch-what work for now. *Reproduction in Domestic Animals*, 53 (S3), 44–52. <https://doi.org/10.1111/rda.13364>
- Mason, S. J. (2023). An update on male canine infertility. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 53 (5), 1063–1081. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2023.04.006>
- Menor-Campos, D. J. (2024). Ethical concerns about fashionable dog breeding. *Animals*, 14 (5), 756. <https://doi.org/10.3390/ani14050756>
- Nagashima, J. B., & Songsasen, N. (2021). Canid reproductive biology: Norm and unique aspects in strategies and mechanisms. *Animals*, 11 (3), 653. <https://doi.org/10.3390/ani11030653>
- O'Neill, D. G., McMillan, K. M., Church, D. B., & Brodbelt, D. C. (2023). Dog breeds and conformations in the UK in 2019: VetCompass canine demography and some consequent welfare implications. *Plos One*, 18 (7), e0288081. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0288081>
- Reynaud, K., Saint-Dizier, M., Thoumire, S., & Chastant-Maillard, S. (2020). Follicle growth, oocyte maturation, embryo development, and reproductive biotechnologies in dog and cat. *Clinical Theriogenology*, 12 (3), 189–203.
- Robert, M. A., Jayaprakash, G., Pawshe, M., Tamilmani, T., & Sathiyabarathi, M. (2016). Collection and evaluation of canine semen – A review. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 5 (3), 1586–1595.
- Rota, A., Linde-Forsberg, C., Vannozzi, J., Romagnoli, S., & Rodriguez-Martinez, H. (1998). Cryosurvival of dog spermatozoa at different glycerol concentrations and freezing/thawing rates. *Reproduction in Domestic Animals*, 33 (5), 355–361. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.1998.tb01370.x>
- Roos-Pichenot, J., & Zakošek Pipan, M. (2025). “My Bitch Is Empty!” an overview of the preconceptional causes of infertility in dogs. *Veterinary Sciences*, 12 (7), 663. <https://doi.org/10.3390/vetsci12070663>
- Schwartz, D. W., Kvernum, J., Macias, N., Waqas, M. S., & Ciccarelli, M. (2025). Incorporating Morphological evaluations into breeding soundness examinations for female dogs. *Animals*, 15 (14), 2045. <https://doi.org/10.3390/ani15142045>
- Sones, J., & Balogh, O. (2023). Body condition and fertility in dogs. *Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice*, 53 (5), 1031–1045. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2023.04.005>
- Sorkytė, Š., Šiugždinienė, R., Virgailis, M., Vaičiulienė, G., Wysokińska, A., Wójcik, E., Matusevičius, P., Rekešius, A., & Sutkevičienė, N. (2024). The interaction between canine semen bacteria and semen quality parameters. *Animals*, 14 (15), 2151. <https://doi.org/10.3390/ani14152151>
- Tesi, M., Sabatini, C., Vannozzi, I., Di Petta, G., Panzani, D., Camillo, F., & Rota, A. (2018). Variables affecting semen quality and its relation to fertility in the dog: A retrospective study. *Theriogenology*, 118, 34–39. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2018.05.018>
- Venianaki, A. P., Barbagianni, M. S., Fthenakis, G. C., Galatos, A. D., & Gouletsou, P. G. (2024). Ultrasonography of testicular maturation and correlation with body growth and semen evaluation in beagle dog model. *Veterinary Sciences*, 11 (6), 270. <https://doi.org/10.3390/vetsci11060270>

ORCID

- | | | |
|---------------|---|---|
| M. Seba |  | https://orcid.org/0000-0001-9696-934X |
| M. Khomenko |  | https://orcid.org/0000-0001-7023-3676 |
| R. Kononenko |  | https://orcid.org/0000-0002-7818-2583 |
| N. Svyrydenko |  | https://orcid.org/0000-0002-9151-6904 |
| T. Lytyvnenko |  | https://orcid.org/0000-0002-0405-3367 |
| L. Khmelnychy |  | https://orcid.org/0000-0001-5175-1291 |
| V. Bochkov |  | https://orcid.org/0000-0002-6204-7571 |
| O. Makhovyi |  | https://orcid.org/0009-0006-2044-484X |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Ameliorative effects of milk thistle alcoholic extract on reproductive function and testicular oxidative damage in potassium dichromate treated male rats

A. J. Al-Nuaimi | Amaal M. Khudaier | M. S. Hassan

Article info

Correspondence Author

M. S. Hassan

E-mail:

mayada.s@uokerbala.edu.iqCollege of Veterinary
Medicine, University of
Kerbala,
Karbala, 56001, Iraq

Citation: Al-Nuaimi, A. J., Khudaier, Amaal, M., & Hassan, M. S. (2025). Ameliorative effects of milk thistle alcoholic extract on reproductive function and testicular oxidative damage in potassium dichromate treated male rats. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 99–103. doi: 10.31210/spi2026.29.01.16

Milk thistle (silymarin), a well-known antioxidant and cytoprotective compound, possesses therapeutic and protective properties. Numerous scientific studies have documented the use of milk thistle-based preparations for therapeutic purposes (to treat various pathological processes in animals and humans) or for prophylaxis. Based on the above mentioned, this study aimed to investigate the corrective effect of milk thistle ethanol extract on reproductive function and oxidative testicular damage in rats poisoned with potassium dichromate. In the experiment, adult male albino rats (n=6) were used. Group 1 (Control group): The animals were given distilled water orally for 28 days. Accordingly, Group 2 was administered potassium dichromate intraperitoneally daily for two weeks. Animals in Group 3 were given an oral dose of milk thistle alcoholic extract. Animals in Group 4 were given an oral dose of milk thistle alcoholic extract (daily for 28 days) and potassium dichromate (daily for two weeks). The studies established the negative effect of potassium dichromate, which affected the changes in the level of testosterone, FSH, and LH in the blood serum of male rats (group 2); the mentioned indicators tended to significantly decrease ($P \leq 0.05$) compared to those in the control group. It was determined that the level of testosterone, FSH, and LH in the blood serum in the group of rats (group 3) that received milk thistle was similar to the analogous levels in rats (group 1) that did not receive potassium dichromate. At the same time, in this group the level of testosterone, FSH and LH tended to increase ($P \leq 0.05$) compared to the group that received potassium dichromate. The studies established the presence of a corrective effect in the group of animals that received potassium dichromate + milk thistle. In particular, serum testosterone, FSH, and LH levels were recorded to increase by 1.6, 1.5, and 1.3 times, respectively ($P \leq 0.05$), compared to the potassium dichromate-treated rats. It was also found that the administration of potassium dichromate to rats (Group 2) increased the level of nitric oxide ($P \leq 0.05$) and decreased the activity of SOD ($P \leq 0.05$) compared to the control animals. The administration of milk thistle to rats (Group 3) contributed to the increase in the activity of SOD ($P \leq 0.05$), even compared to the indicator in the control group of animals. In Group 4 of rats, the level of nitric oxide tended to decrease ($P \leq 0.05$), and the activity of SOD increased ($P \leq 0.05$) compared to the animals that received potassium dichromate. Thus, according to the study, milk thistle extract demonstrated a significant protective effect against potassium dichromate.

Keywords: Milk thistle, rats, testicular oxidative damage.

Корегуючий вплив спиртового екстракту розторопші на репродуктивну функцію щурів за оксидативного стресу, викликаного дихроматом калію

А. Дж. Аль-Нуаймі | Амаал М. Худайер | М. С. Хасан

Коледж ветеринарної
медицини, Університет
Кербели,
провінція Кербела, Ірак

Розторопша – відомий антиоксидант, що має терапевтичні та захисні властивості. Численні наукові дослідження свідчать про можливість використання препаратів на основі розторопші з терапевтичною метою (для лікування різних патологічних процесів у тварин та людей) або для профілактики. Виходячи з вищезазначеного, мета цього дослідження полягала у вивченні коригуючого впливу спиртового екстракту розторопші на репродуктивну функцію щурів інтоксикованих калієм дихромату. У досліді використовували дорослих самців білих щурів, яких розділили на 4 групи (n=6). Група 1 (контрольна), де тваринам давали дистильовану воду перорально протягом 28 днів. Щурам з 2-ї групи щодня протягом двох тижнів внутрішньоочеревинно вводили дихромат калію. Тваринам з 3-ї групи перорально давали спиртовий екстракт розторопші. Тваринам з 4-ї групи перорально давали спиртовий екстракт розторопші (щоденно протягом 28 днів) та дихромат калію (протягом двох тижнів). Дослідженнями встановлено негативний вплив дихромату калію, що проявлявся змінами рівня тестостерону, ФСГ та ЛГ у сироватці крові самців щурів (група 2). Зазначені показники мали тенденцію до значного зниження ($P \leq 0.05$) порівняно з контрольною групою. Було визначено, що рівень тестостерону, ФСГ та ЛГ у сироватці крові щурів (група 3), які отримували розторопшу, був подібним до аналогічних рівнів у щурів (група 1), які не отримували дихромат калію. Водночас, у цій групі рівень тестостерону, ФСГ та ЛГ мав тенденцію до підвищення ($P \leq 0.05$) порівняно з групою, яка отримувала дихромат калію. Дослідженнями встановлено коригуючий вплив розторопші у групі тварин, які отримували її разом із дихроматом калію. Зокрема, рівні тестостерону, ФСГ та ЛГ у сироватці крові щурів 4-ї групи мали тенденцію до підвищення ($P \leq 0.05$) порівняно зі щурами 2 групи. Також було виявлено, що введення дихромату калію щурам підвищувало рівень оксиду азоту ($P \leq 0.05$) та знижувало активність СОД ($P \leq 0.05$) порівняно з контрольними тваринами. Введення розторопші плямистої щурам (3-тя група) сприяло підвищенню активності СОД ($P \leq 0.05$), навіть, порівняно з показником у контрольній групі тварин. У 4-й групі щурів рівень оксиду азоту знижувався ($P \leq 0.05$), а активність СОД – зростала ($P \leq 0.05$) порівняно з тваринами, які отримували дихромат калію. Таким чином, згідно з результатами дослідження, екстракт розторопші плямистої продемонстрував значний захисний ефект проти дихромату калію.

Ключові слова: розторопша, щури, оксидативне ушкодження сім'яників.



Бібліографічний опис для цитування: Аль-Нуаймі А. Дж., Худайер Амаал М., Хасан М. С. Корегуючий вплив спиртового екстракту розторопші на репродуктивну функцію щурів за оксидативного стресу, викликаного дихроматом калію. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 99–103.

Introduction

The testicles generate testosterone, the male hormone that is needed for protein synthesis, muscle and bone growth, and reproductive development [1]. When testicular dysfunction occurs, testosterone levels decrease, leading to various pathophysiological changes and clinical symptoms [2]. Achilonu et al. [3] are conducting research on the use of natural products to improve livestock productivity, including growth rate, feed effectiveness, stress tolerance, and overall well-being.

Milk thistle (*Silybum marianum*) is a plant with a long history in medicine [4]. Its seeds have been used for more than 2,000 years for a variety of purposes [5]. In addition to destroying free radicals that cause lipid peroxidation, silymarin also exerts antioxidant effects by affecting enzyme systems involving glutathione and superoxide dismutase [6]. The presence of silymarin, a flavonoid complex consisting of silybin A and B, isosilybin A and B, silycristin and silydianin, is directly connected with the medicinal benefits of milk thistle [7]. The highest concentrations of silymarin are found in the plant's achenes, which are mistakenly but often called "seeds" [8]. Having antioxidant, anti-inflammatory properties, the compounds play a crucial role in preventing cancer progression, and the important mechanism in inducing apoptosis, promoting cancer cell death and inhibiting tumour growth, were demonstrated by silymarin [9]. It shows immune modulatory activity, increases lactation and increases protein synthesis [10]. Furthermore, in human prostate, breast, and cervical cancer cells, silymarin inhibits DNA synthesis, cell division, and other mitogenic signals [11].

A chemical compound referred to as potassium dichromate, which includes both potassium and chromate, is toxic to the reproductive system. The compound's history emphasizes its importance in chemical processes and a variety of business applications [12]. Men who are exposed to this chemical may develop decreased sperm production and testicular damage. Furthermore, by damaging the ovaries and reducing fertility, it can have an impact on the female reproductive system [13]. Potassium dichromate has also been connected to a higher risk of developing some cancers, such as lung and nasal cavity cancers, which can further impair reproductive health. To decrease exposure risk and potential reproductive system consequences, this substance must be handled with extreme caution and in compliance with safety protocols [14].

The aim of the study

The work was aimed to investigate the corrective effect of an alcoholic extract of milk thistle on reproductive function and oxidative damage to the testicles in rats intoxicated with potassium dichromate.

Materials and methods

Milk thistle seeds extract preparation

The study's materials and methodology included milk thistle extract (silymarin), which was made by steeping 100 g of freshly ground milk thistle seeds from the local Karbala market in 1,200 ml of boiling water at 100 °C for

210 minutes [15], after being sieved and heated to 40 °C, the extract was dried and kept at -20 °C for storage. Doses equal to the therapeutic dose were used to administer the extract [16].

Experimental animals

Twenty-four mature male albino rats were used in this study, which was carried out at the University of Kerbala's College of Veterinary Medicine in Iraq. Their ages ranged from 14 to 16 weeks, and their mean weight was between 200 and 350 grams. Before the experiment started, the rats were allowed to acclimate for two weeks in groups of four per cage in an animal premises, where they had unrestricted access to food and water. The temperature in the animal premises was between 20 and 25°C, and the lighting cycle was natural.

Experimental design

The rats were separated into four groups (6 rat/ group):

Group 1 – Control: the animals were given regular normal saline for 4 weeks orally.

Group 2 – Milk Thistle Extract: rats were given 200 mg/kg/day of milk thistle extract orally for 28 days.

Group 3 – Potassium Dichromate: rats received 2 mg/kg of body weight of potassium dichromate intraperitoneally once a day for two weeks.

Group 4 – Potassium Dichromate and Milk Thistle Extract: rats were given 2 mg of potassium dichromate/kg/day intraperitoneally for 2 weeks, followed by the treatment with 200 mg/kg/day of milk thistle extract orally for 28 days.

Hormones assay

In the current study, the following indicators were measured: the concentration of serum testosterone hormone (T) by enzyme linked immunosorbent assay (ELISA) according to [17]; the level of the concentration of serum follicle-stimulating hormone (FSH) in accordance with [18]; and the concentration of serum luteinizing hormone (LH) in accordance with [19].

The oxidant and antioxidant parameters

The level of serum nitric oxide (NO), was measured by ELISA technique in accordance with [20], and antioxidant enzyme indices, specifically superoxide dismutase (SOD) activity, were measured by ELISA technique, conducted according to reference [21].

Statistical analysis

The Statistical Package for Social Scientists (SPSS version 18.0) and Microsoft Office Excel 2016 were used to study the data. A one-way ANOVA with LSD post hoc test for significance was used to assess if there was a significant difference between the groups' means. The paired t-test was used for mean comparisons, where $P < 0.05$ values were considered significant [22].

Results and discussion

Effect of potassium dichromate administration and milk thistle extract on serum hormones concentration in adult male rats

After 28 days, serum testosterone, follicle-stimulating hormone, and luteinizing hormone levels in the potassium dichromate group were significantly lower – 2.3, 2.0, and 1.6 times, respectively ($P \leq 0.05$) – than in the control group. In contrast, serum testosterone, FSH, and LH levels in the milk thistle group were within normal limits compared to the control group, while they significantly increased by 2.5, 2.2, and 1.8 times, respectively ($P \leq 0.05$), compared to the potassium dichromate group.

It should be noted that, in comparison with the group receiving potassium dichromate, after 28 days, the levels of testosterone, FSH and LH in the blood serum of the group receiving potassium dichromate + milk thistle increased significantly by 1.6, 1.5 and 1.3 times, respectively ($P \leq 0.05$), as shown in *Table 1*.

Table 1

The effect of potassium dichromate administration and milk thistle extract on serum hormones concentration in adult male rats, mean $\pm$ SD

Groups	Parameters		
	Testosterone, ng/ml	FSH, mIU/ml	LH, mIU/ml
Control	4.9 $\pm$ 0.6 ^a	3.2 $\pm$ 0.8 ^a	3.6 $\pm$ 0.3 ^a
Potassium dichromate	2.1 $\pm$ 0.4 ^c	1.6 $\pm$ 0.4 ^c	2.2 $\pm$ 0.4 ^c
Milk thistle	5.3 $\pm$ 0.7 ^a	3.5 $\pm$ 0.6 ^a	3.9 $\pm$ 0.9 ^a
Potassium dichromate + milk thistle	3.4 $\pm$ 0.5 ^b	2.4 $\pm$ 0.3 ^b	2.8 $\pm$ 0.5 ^b
LSD	0.44	0.57	0.34

Note: The differing lowercase letters (a) indicate significant differences between groups, with a significance level set at $P < 0.05$.

One polyphenolic flavonoid that comes from milk thistle is silymarin. The main component of silymarin, silybin, is responsible for most of its phytochemical characteristics. According to a number of studies, silymarin has immune modulatory, anti-inflammatory, anti-cancer, and anti-fibrotic properties [23]. The synthesis of testosterone, luteinizing hormone (LH), follicle stimulating hormone (FSH), gonadotropin-releasing hormone (GnRH), and the number of spermatozoa cells is also enhanced by silymarin in rats [24]. On the other hand, the study found that rabbits, which ate milk thistle seeds had higher sperm concentration, viability, motility, testosterone levels and fertility [25]. In the testes of quail fed with a high-energy diet, milk thistle seed supplementation prevented histopathological damage and decreased testosterone production [26].

Male rats are exposed to potassium dichromate, which is used as a poison or pollutant. The effects on fertility and physical parameters were studied [27]. The reproductive system is significantly affected by exposure to potassium dichromate, particularly due to its hexavalent chromium component, affecting both males and females [28].

The main reason of unfavorable effects occurring in males is disrupting the process of spermatogenesis, or sperm production. According to the previous research, exposure to potassium dichromate reduces sperm motility and number [29]. In addition, there is evidence to support

the idea that hormonal imbalance can affect the balance between testosterone and other hormones important to male reproductive health [30].

It is important to understand that the reproductive toxicity of potassium dichromate is often dose-dependent, various routes of exposure, with more severe effects occurring at higher concentrations, reproductive health risks can be attributed to, including prolonged environmental exposure and the work environment [31]. The reproductive systems of both sexes are generally exposed to potassium dichromate, which can cause developmental abnormalities, reduced fertility and other reproductive health problems. The protection of reproductive health in the environmental and occupational context requires reducing the risk through safety measures.

The effect of potassium dichromate administration and milk thistle extract on oxidant and antioxidant levels in adult male rats

Table 2 shows the effect of potassium dichromate administration and milk thistle extract intervention on changes in the SOD activity profile.

Table 2

The effect of potassium dichromate administration and milk thistle extract on oxidant and antioxidant levels in adult male rats (mean $\pm$ SD)

Groups	Parameters	
	NO, μ mol/mg	SOD, U/mg
Control	5.2 $\pm$ 0.4 ^c	12.8 $\pm$ 1.2 ^b
Potassium dichromate	9.8 $\pm$ 0.7 ^a	6.5 $\pm$ 0.8 ^c
Milk thistle	4.9 $\pm$ 0.3 ^c	14.2 $\pm$ 1.5 ^a
Potassium dichromate + milk thistle	7.1 $\pm$ 0.6 ^b	10.3 $\pm$ 1.1 ^b
LSD	1.2	2.3

Note: The differing lowercase letters (a) indicate significant differences between the groups, with a significance level set at $P < 0.05$.

The administration of potassium dichromate (Group 2) increased nitric oxide levels by 1.9 times ($P \leq 0.05$) compared to the control animals. The animals in this group also showed a 2.0-fold decrease in SOD activity ($P \leq 0.05$) compared to the control animals.

It should be noted that milk thistle administration (Group 3) had a positive effect. SOD activity was 1.1 times higher than in the control animals ($P \leq 0.05$). Despite this, nitric oxide levels, although slightly lower than in the control group, did not show significant changes. In Group 4, nitric oxide levels decreased by 1.4 times ($P \leq 0.05$), and SOD activity increased by 1.6 times ($P \leq 0.05$) compared to the animals receiving potassium dichromate.

Enzyme activity in all organs increased to various degrees as a result of the milk thistle extract intervention in the normal group (Group 3). Normally, the body develops defense mechanisms against free radical damage, or oxidative stress, primarily based on antioxidant enzymes (GSH-Px, GSH-Rd, CAT, and SOD) that can scavenge ROS [32, 33]. The way the antioxidant defense mechanisms work is that SODs convert O_2^- –

to H₂O₂, which is subsequently eliminated by a number of enzymes, including CAT and GSH-Px. Increased ROS generation and mitochondrial dysfunction are caused by decreased antioxidant enzyme activity in both in vitro and in vivo settings [34–36].

By combining lignan and flavonoid components, *Silybum marianum* creates flavonolignans. A flavonoid and a phenylpropanoid, usually coniferyl alcohol, undergo oxidative coupling events, which is the cause of this (oxidative coupling occurs between free radicals generated from the flavonol taxifolin and those generated from coniferyl alcohol) [37].

Conclusions

The studies found an adverse effect of potassium dichromate, which caused the changes in the levels of testosterone, FSH and LH in the blood serum of male rats, which tended to decrease ($P \leq 0.05$) compared to the control group. The levels of testosterone, FSH and LH in the blood serum in the group of rats receiving milk thistle tended to increase ($P \leq 0.05$) compared to the group receiving potassium dichromate. The studies revealed a corrective effect in the group receiving potassium dichromate and milk thistle. In particular, the levels of testosterone, FSH and LH in the blood serum increased ($P \leq 0.05$) compared to the rats receiving potassium dichromate. It was found that the administration of potassium dichromate to rats increased the level of nitric oxide ($P \leq 0.05$) and decreased the activity of SOD ($P \leq 0.05$) compared to the control animals. The administration of milk thistle to rats contributed to an increase in the activity of SOD ($P \leq 0.05$), even compared to the indicator in the control group of animals. In the group of animals that received potassium dichromate + milk thistle, the level of nitric oxide tended to decrease ($P \leq 0.05$), and the activity of SOD increased ($P \leq 0.05$) compared to the animals that received potassium dichromate. Thus, the milk thistle extract demonstrated a significant protective effect against potassium dichromate.

DECLARATIONS

Ethical Statement

The authors confirm that the studies were conducted in accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals (Strasbourg, 1986), national ethical norms, and international standards (NIH).

Under the reference number (UOK.VET.PH.2025.130), this research was conducted in the College of Veterinary Medicine at the University of Karbala.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The authors declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Kapoor, D., & Jones, T. H. (2008). Androgen deficiency as a predictor of metabolic syndrome in aging men. *Drugs & Aging*, 25 (5), 357–369. <https://doi.org/10.2165/00002512-200825050-00001>
2. Azcarate, P. M., Venincasa, V. D., Feuer, W., Stanczyk, F., Schally, A. V., & Galor, A. (2014). Androgen deficiency and dry eye syndrome in the aging male. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 55 (8), 5046–5043. <https://doi.org/10.1167/iov.14-14689>
3. Achilonu, M. C., Nwafor, I. C., Umesiofi, D. O., & Sedibe, M. M. (2017). Biochemical proximates of pumpkin (*Cucurbita* spp.) and their beneficial effects on the general well-being of poultry species. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102 (1), 5–16. <https://doi.org/10.1111/jpn.12654>
4. Emadi, S. A., Ghasemzadeh Rahbardi, M., Mehri, S., & Hosseinzadeh, H. (2022). A review of therapeutic potentials of milk thistle (*Silybum marianum* L.) and its main constituent, silymarin, on cancer, and their related patents. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 25 (10), 1166–1176.
5. Wu, J.-W., Lin, L.-C., & Tsai, T.-H. (2009). Drug–drug interactions of silymarin on the perspective of pharmacokinetics. *Journal of Ethnopharmacology*, 121 (2), 185–193. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2008.10.036>
6. Fraschini, F., Demartini, G., & Esposti, D. (2002). Pharmacology of silymarin. *Clinical Drug Investigation*, 22 (1), 51–65. <https://doi.org/10.2165/00044011-200222010-00007>
7. Lee, D. Y.-W., & Liu, (2003). Molecular structure and stereochemistry of silybin A, silybin B, isosilybin A, and isosilybin B, isolated from *Silybum marianum* (milk thistle). *Journal of Natural Products*, 66 (9), 1171–1174. <https://doi.org/10.1021/np030163b>
8. Engelberth, A. S., Carrier, D. J., & Clausen, E. C. (2008). Separation of silymarins from milk thistle (*Silybum marianum* L.) extracted with pressurized hot water using fast centrifugal partition chromatography. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 31 (19), 3001–3011. <https://doi.org/10.1080/10826070802424907>
9. Björklund, G., Storchylo, O., Butnariu, M., Dadar, M., & Chirumbolo, S. (2025). Milk thistle (*Silybum marianum*): Potential role in cancer prevention. *Current Medicinal Chemistry*, 32 (39), 8895–8912. <https://doi.org/10.2174/0109298673371391250415105506>
10. Abenavoli, L., Capasso, R., Milic, N., & Capasso, F. (2010). Milk thistle in liver diseases: past, present, future. *Phytotherapy Research*, 24 (10), 1423–1432. <https://doi.org/10.1002/ptr.3207>
11. Bhatia, N., Zhao, J., Wolf, D. M., & Agarwal, R. (1999). Inhibition of human carcinoma cell growth and DNA synthesis by silibinin, an active constituent of milk thistle: comparison with silymarin. *Cancer Letters*, 147 (1–2), 77–84. [https://doi.org/10.1016/s0304-3835\(99\)00276-1](https://doi.org/10.1016/s0304-3835(99)00276-1)
12. Monga, E., Mangora, M. M., & Trettin, C. C. (2022). Impact of mangrove planting on forest biomass carbon and other structural attributes in the Rufiji Delta, Tanzania. *Global Ecology and Conservation*, 35, e02100. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2022.e02100>
13. Bashandy, S. A. E., Ebaid, H., Al-Tamimi, J., Ahmed-Farid, O. A.-H., Omara, E. A., & Alhazza, I. M. (2021). Melatonin alleviated potassium dichromate-induced oxidative stress and reprotoxicity in male rats. *BioMed Research International*, 2021 (1), 3565360. <https://doi.org/10.1155/2021/3565360>
14. Naseer, M. I., Zaigham, K., Malik, A., Habiba, U. E., Alam, R., Manan, A., Arooj, M., Saeed, A., Qazi, M. H., Asif, M., & Rasool, M. (2014). Potential reproductive health effects and oxidative stress associated with exposure to potassium dichromate (K₂Cr₂O₇) and magnesium sulphate (MgSO₄) in male mice. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, 30 (4), 819. <https://doi.org/10.12669/pjms.304.4757>
15. Doostkam, A., Fathalipour, M., Anbardar, M. H., Purkhosrow, A., & Mirkhani, H. (2022). Therapeutic effects of milk thistle (*Silybum marianum* L.) and artichoke (*Cynara scolymus* L.) on nonalcoholic fatty liver disease in type 2 diabetic rats. *Canadian Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 2022, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2022/2868904>

16. Soleimani, V., Delghandi, P. S., Moallem, S. A., & Karimi, G. (2019). Safety and toxicity of silymarin, the major constituent of milk thistle extract: An updated review. *Phytotherapy Research*, 33 (6), 1627–1638. <https://doi.org/10.1002/ptr.6361>
17. Mujika, I., Chatard, J.-C., Padilla, S., Yannick Guezennec, C., & Geyssant, A. (1996). Hormonal responses to training and its tapering off in competitive swimmers: relationships with performance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 74 (4), 361–366. <https://doi.org/10.1007/bf02226933>
18. Simoni, M. (1997). The follicle-stimulating hormone receptor: biochemistry, molecular biology, physiology, and pathophysiology. *Endocrine Reviews*, 18 (6), 739–773. <https://doi.org/10.1210/er.18.6.739>
19. Ellis, G. B., & Desjardins, C. (1982). Male rats secrete luteinizing hormone and testosterone episodically. *Endocrinology*, 110 (5), 1618–1627. <https://doi.org/10.1210/endo-110-5-1618>
20. Adams, M. L., Meyer, E. R., Sewing, B. N., & Cicero, T. J. (1994). Effects of nitric oxide-related agents on rat testicular function. *The Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 269 (1), 230–237. [https://doi.org/10.1016/s0022-3565\(25\)38659-3](https://doi.org/10.1016/s0022-3565(25)38659-3)
21. Kavsak, P. A., Worster, A., Hill, S. A., MacRae, A. R., & Jaffe, A. S. (2017). Analytical comparison of three different versions of a high-sensitivity cardiac troponin I assay over 10 years. *Clinica Chimica Acta*, 475, 51–55. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2017.10.006>
22. Dugard, P. (2014). Randomization tests: A new gold standard? *Journal of Contextual Behavioral Science*, 3 (1), 65–68. <https://doi.org/10.1016/j.jcbs.2013.10.001>
23. Ferraz, A. C., Almeida, L. T., da Silva Caetano, C. C., da Silva Menegatto, M. B., Souza Lima, R. L., de Senna, J. P. N., de Oliveira Cardoso, J. M., Perucci, L. O., Talvani, A., Geraldo de Lima, W., de Mello Silva, B., Barbosa Reis, A., de Magalhães, J. C., & Lopes de Brito Magalhães, C. (2021). Hepatoprotective, antioxidant, anti-inflammatory, and antiviral activities of silymarin against mayaro virus infection. *Antiviral Research*, 194, 105168. <https://doi.org/10.1016/j.antiviral.2021.105168>
24. Abedi, H., Jahromi, H. K., Hashemi, S. A., Jashni, H. K., Jahromi, Z. K., & Pourahmadi, M. (2016). The effect of silymarin on spermatogenesis process in rats. *International Journal of Medical Research & Health Sciences*, 5 (6), 146–150.
25. Hosny, M., Khalil, N. S. A., Alghriany, A. A. I., Younis, M., & Abdelfattah, M. G. (2024). Growth performance, biochemical outcomes, and testicular histological features in male Japanese quails supplemented with milk thistle seeds. *The Journal of Basic and Applied Zoology*, 85 (1), 29. <https://doi.org/10.1186/s41936-024-00383-9>
26. Çeribaşı, S., Türk, G., Özçelik, M., Doğan, G., Çeribaşı, A. O., Mutlu, S. İ., Erişir, Z., Güvenç, M., Güngören, G., Acısu, T. C., Akarsu, S. A., Kaya, Ş. Ö., Sönmez, M., Yüce, A., Çiftçi, M., Çambay, Z., Bağcı, E., Azman, M. A., & Şimşek, Ü. G. (2020). Negative effect of feeding with high energy diets on testes and metabolic blood parameters of male Japanese quails, and positive role of milk thistle seed. *Theriogenology*, 144, 74–81. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.12.021>
27. Marouani, N., Tebourbi, O., Hallègue, D., Mokni, M., Yacoubi, M. T., Sakly, M., Benkhalifa, M., & Rhouma, K. B. (2016). Mechanisms of chromium hexavalent-induced apoptosis in rat testes. *Toxicology and Industrial Health*, 33 (2), 97–106. <https://doi.org/10.1177/0748233715600333>
28. Bashandy, S., Ahmed-Farid, O.-H., Omara, E., El-Toumy, S., & Salib, J. (2019). Protective effect of *Citrus reticulata* peel extract against potassium dichromate-induced reproductive toxicity in rats. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 8 (6), 267. <https://doi.org/10.4103/2305-0500.270104>
29. Abd El-Rahman, S. S., Ashwish, N. M., & Ali, M. E. (2023). Appraisal of the pre-emptive effect of lactoferrin against chromium-induced testicular toxicity in male rats. *Biological Trace Element Research*, 201 (11), 5321–5334. <https://doi.org/10.1007/s12011-023-03605-3>
30. Morsi, A. S., Ramadan, H. M., Youssef, A. M., & Taha, N. A. (2025). Mechanisms of PDC-induced testicular Toxicity: Oxidative stress, steroidogenic suppression, and modulation by ZnO-NP/TEO synergy. *Food and Chemical Toxicology*, 204, 115675. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2025.115675>
31. Pereira, S. C., Oliveira, P. F., Oliveira, S. R., Pereira, M. de L., & Alves, M. G. (2021). Impact of environmental and lifestyle use of chromium on male fertility: Focus on antioxidant activity and oxidative stress. *Antioxidants*, 10 (9), 1365. <https://doi.org/10.3390/antiox10091365>
32. Mahran, M., & El-Hassanen, Y. (2023). Attenuation of benzo[a]pyrene-induced oxidative stress and cell apoptosis in albino rats by wild milk thistle (*Silybum marianum* L.) seeds extract. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66 (13), 1671–1687. <https://doi.org/10.21608/ejchem.2023.214010.8042>
33. Abd Elalal, N. S., Elsemelawy, S. A., & Elhassaneen, Y. A. (2022). Potential effects of wild milk thistle (*Silybum marianum* L.) seed extract intervention on oxidative stress induced by busulfan drug in different organs of rats. *International Journal of Healthcare and Medical Sciences*, 83, 19–34. <https://doi.org/10.32861/ijhms.83.19.34>
34. DeLeve, L. D., & Wang, X. (2000). Role of oxidative stress and glutathione in busulfan toxicity in cultured murine hepatocytes. *Pharmacology*, 60 (3), 143–154. <https://doi.org/10.1159/000028359>
35. Curtis, J. M., Grimsrud, P. A., Wright, W. S., Xu, X., Foncea, R. E., Graham, D. W., Brestoff, J. R., Wiczor, B. M., Ilkayeva, O., Cianflone, K., Muoio, D. E., Arriaga, E. A., & Bernlohr, D. A. (2010). Downregulation of adipose glutathione S-transferase A4 leads to increased protein carbonylation, oxidative stress, and mitochondrial dysfunction. *Diabetes*, 59 (5), 1132–1142. <https://doi.org/10.2337/db09-1105>
36. Sajedianfard, J., Nazifi, S., & Shamsaei, H. A. (2014). The effects of oral administration of different doses of hydroalcoholic extract of silymarin on status of serum trace elements. *American Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 9 (3), 170–176. <https://doi.org/10.3844/ajavsp.2014.170.176>
37. Dewick, P. (2002). *Medicinal natural products: A biosynthetic approach (2nd ed.)*. New York: John Wiley & Sons.

ORCID

M. S. Hassan 

Amaal M. Khudaier 

A. J. Al-Nuaimi 

<https://orcid.org/0000-0001-7169-2217>

<https://orcid.org/0009-0009-2207-4266>

<https://orcid.org/0009-0002-4468-2093>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Features of clinical manifestations of helminthiases of the digestive tract in dogs in mono- and associative course in dogs

D. Kryvoruchenko✉

Article info

Correspondence Author
D. Kryvoruchenko
E-mail:
denys.kryvoruchenko@gmail.com

State Biotechnological
University,
Alchevsky Str., 44,
Kharkiv, 61002, Ukraine

Citation: Kryvoruchenko, D. (2026). Features of clinical manifestations of helminthiases of the digestive tract in dogs in mono- and associative course in dogs. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 104–109. doi: 10.31210/spi2026.29.01.17

Gastrointestinal helminthiases is one of the most diverse and widespread infestations of domestic animals worldwide. It exhibits a diverse range of hosts, including domestic and wild animals, plants, and humans. Dogs are usually the definitive hosts for a significant number of gastrointestinal helminthiases that are widespread throughout the world. This widespread distribution of these diseases is due to the fact that dogs can remain asymptomatic or mildly symptomatic carriers, which hinders early recognition and diagnosis of infestations. The aim of the research was to investigate the features of the clinical manifestation of mono- and mixed infestations of trichurises, toxocares and dipylidies in dogs. The research was conducted in the conditions of the Veterinary Clinic "Dovira" (Kharkiv) and the Laboratory of Parasitology of the Poltava State Agrarian University (Poltava). Three groups of dogs were formed (the first – infested with trichurises, the second – with an association of trichurises and toxocares, the third – with an association of trichurises toxocares and dipylidies). It was established that with trichurotic monoinvasion in dogs, a total of 12 clinical symptoms were detected, which were expressed to a minor extent. Among them, the most frequently detected were anemic mucous membranes (60.5 %), growth and development delay (52.6 %), decreased appetite (57.9 %). 6 clinical symptoms were significantly expressed, of which the most frequently detected was dullness of the coat (55.3%). With trichurous-toxocarotic mixed invasion in dogs, 15 clinical symptoms were detected, which were expressed to a minor extent. The most frequently detected symptoms were cough (62.0 %), decreased appetite (57.1 %), thirst (66.6 %), vomiting (57.1 %), diarrhea (57.1 %). 10 clinical symptoms were significantly expressed, of which the most frequently detected were anemic mucous membranes (57.1 %), dull coat (76.2 %), and growth and development delay (57.1 %). In trichurous-toxocarotic-dipylidiotic mixed infestation, 15 clinical symptoms were detected, which were expressed to a slight and to a significant extent in 12.5–75.0 % and 6.3–87.5 % of the infected animals, respectively. It is recommended to take the obtained research results into account in the comprehensive diagnosis of intestinal mono- and mixed infestations in dogs.

Keywords: parasitology, dogs, trichurosis, toxocarosis, dipylidiosis, mono- and mixed infestations, clinical manifestation.

Особливості клінічного прояву гельмінтозів травного тракту у собак за моно- та асоціативного перебігу у собак

Д. О. Криворученко

Державний
біотехнологічний
університет,
м. Харків, Україна

Шлунково-кишкові гельмінтози є одними з найрізноманітніших та найпоширеніших інвазій серед домашніх тварин у всьому світі. Вони демонструють різноманітний спектр господарів, таких як домашні і дикі тварини, рослини, а також людина. Собаки, зазвичай, виступають остаточними господарями значної кількості шлунково-кишкових гельмінтозів, які розповсюджені по всьому світу. Таке широке поширення цих захворювань пояснюється тим, що собаки можуть залишатися безсимптомними або малосимптомними носіями, що перешкоджає ранньому розпізнаванню та діагностиці інвазій. Метою досліджень було дослідити особливості клінічного прояву моно- та мікстинвазій за паразитування трихурисів, токсокар і дипілідій у собак. Дослідження проводили в умовах ветеринарної клініки «Довіра» (м. Харків) та лабораторії паразитології Полтавського державного аграрного університету (м. Полтава). Було сформовано три групи собак (перша – інвазовані трихурисами, друга – асоціацією трихурисів і токсокар, третя – асоціацією трихурисів, токсокар і дипілідій). Встановлено, що за трихурозної моноінвазії у собак всього виявлено 12 клінічних симптомів, які були виражені незначною мірою. З-поміж них найчастіше виявляли анемічність слизових оболонок (60,5 %), затримку у рості та розвитку (52,6 %), зниження апетиту (57,9 %). Значною мірою були виражені 6 клінічних симптомів, з яких найчастіше виявляли тьмяність шерстного покриву (55,3 %). За трихурозно-токсокарозної мікстинвазії у собак виявлено 15 клінічних симптомів, які були виражені незначною мірою. Найчастіше виявляли кашель (62,0 %), зниження апетиту (57,1 %), спрагу (66,6 %), блювання (57,1 %), діарею (57,1 %). Значною мірою були виражені 10 клінічних симптомів, з яких найчастіше виявляли анемічність слизових оболонок (57,1 %), тьмяність шерстного покриву (76,2 %), затримку у рості та розвитку (57,1 %). За трихурозно-токсокарозно-дипілідіозної мікстинвазії виявлено 15 клінічних симптомів, які були виражені незначною, а також значною мірою відповідно у 12,5–75,0 % та 6,3–87,5 % інвазованих тварин. Отримані результати досліджень рекомендовано враховувати у комплексному діагностуванні кишкових моно- та мікстинвазій у собак.

Ключові слова: паразитологія, собаки, трихуроз, токсокароз, дипілідіоз, моно- та мікстинвазії, клінічний прояв.



Бібліографічний опис для цитування: Криворученко Д. О. Особливості клінічного прояву гельмінтозів травного тракту у собак за моно- та асоціативного перебігу у собак. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 104–109.

Вступ

Кишкові гельмінти є одними з найпоширеніших патогенних агентів, що реєструються у собак і є одними з основних причин патологій шлунково-кишкового тракту [1–4]. Існує безліч повідомлень про значне поширення кишкових паразитів серед собак у всьому світі. В одних дослідженнях повідомлялося про поширеність цих інвазій від 4 до 40 % [5–7]. Інші науковці повідомляють про поширеність понад 60 %. Причому, на думку авторів, різниця у поширеності може бути пов'язана з відмінностями в умовах утримання собак, географічним розташуванням регіонів та методами діагностики, що використовували у моніторингових дослідженнях [8–11].

Відомо, що собаки можуть бути інвазовані кількома видами зоонозних гельмінтів, серед яких кишкові нематоди, такі як токсокари і трихуриси, є найбільш розповсюдженими в усьому світі [12, 13]. Загалом, зоонозна роль *T. vulpis* обговорюється в науковій спільноті, оскільки немає остаточних мікроскопічних та молекулярних доказів здатності *T. vulpis* викликати кишкову інвазію у людей [14].

Важливо, що, окрім цих нематод, цестоди, що локалізуються у кишечнику собак, наприклад, *Echinococcus granulosus* або *Dipylidium caninum*, також мають потенціал інвазувати людей [15]. При цьому заражені собаки виділяють яйця паразитів зі своїми фекаліями та забруднюють довкілля, тобто є найважливішим джерелом інвазій для людей і тварин [16].

Клінічні симптоми гельмінтозів у собак залежать від віку тварини, умов їх утримання, показників інтенсивності інвазії, форм перебігу, тощо. Більшість собак, заражених гельмінтами, протікають безсимптомно, проте у молодих цуценят спостерігаються клінічні ознаки, такі як відставання у рості та розвитку, здуття черева, блювота, діарея, кашель або виділення з носа. Смерть трапляється рідко, але повідомлялося про важкі випадки в результаті перфорації стінки кишечника [17].

Інвазії, спричинені токсокарами, можуть призвести до кишкової непрохідності, а мігруючі личинки токсокар можуть викликати респіраторні симптоми у цуценят. Анкілостоми частіше викликають діарею, втрату ваги та анемію, а у випадку паразитування *Ancylostoma caninum* у собак діарея може супроводжуватися появою крові у фекаліях. На подушечках собак можуть з'являтися шкірні ураження, спричинені проникненням личинок. Водночас вид *Uncinaria*

stenocephala є менш патогенним, ніж *Ancylostoma* spp. Однак він може сприяти виникненню діареї та порушенню всмоктування в кишечнику [18–20]. Науковці зазначають, що нематоди *T. vulpis* можуть призвести до розвитку коліту та діареї, втрати ваги, рідше – до випадіння прямої кишки [21].

У зв'язку з тим, що кишкові гельмінтози не завжди мають специфічні клінічні ознаки, можуть бути нечіткими та схожими на шлунково-кишкові ознаки, пов'язані з іншими захворюваннями, актуальним є встановлення особливостей клінічного прояву за кишкових моно- та мікстінвазій у собак.

Мета дослідження

Метою роботи було з'ясувати особливості клінічного прояву моно- та мікстінвазій за паразитування трихурисів, токсокар і дипілідій у собак.

Матеріали і методи

Роботу виконували впродовж 2024–2026 рр. в умовах приватної ветеринарної клініки «Довіра» (м. Харків) та лабораторії паразитології Полтавського державного аграрного університету (м. Полтава).

З метою виявлення інвазованих собак застосовували флотацийний метод дослідження з використанням комбінованого розчину кальцієвої селітри та натрію хлориду [22].

Було сформовано три групи собак віком від 6 міс. до 3 років. До першої групи віднесені собаки інвазовані *T. vulpis* (n=38), до другої – інвазовані асоціацію *T. vulpis* та *Toxocara canis* (n=21), до третьої – інвазовані асоціацію *T. vulpis*, *T. canis* та *D. caninum* (n=16).

Враховували вираженість клінічних симптомів (%) у собак дослідних груп (незначно виражені та виражені значною мірою).

Результати та їх обговорення

В результаті проведених досліджень було виявлено, що клінічні симптоми, у собак за моноінвазії проявлялися більш у легкій формі порівняно з мікстінвазіями. Так, за трихурозної моноінвазії всього виявлено 12 клінічних симптомів, які були виражені незначною мірою (рис. 1).

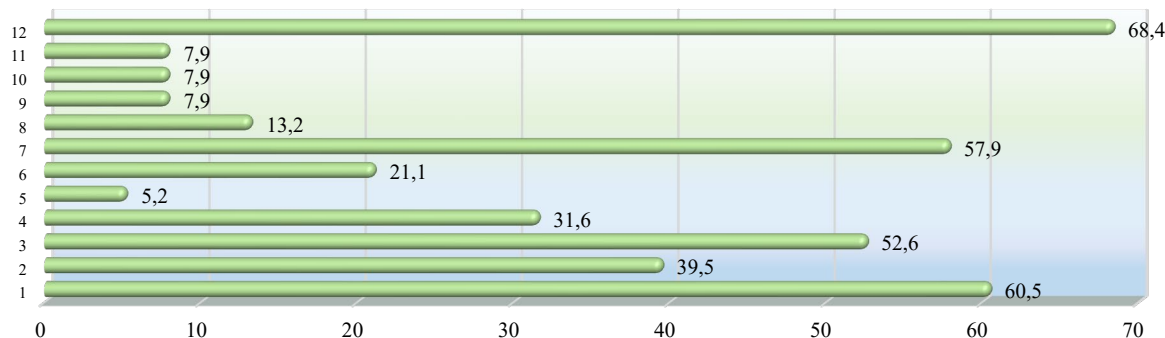


Рис. 1. Клінічні ознаки, що виражені незначною мірою, за трихурозної моноінвазії у собак (n=38, %): 1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерстного покриву, 3 – затримка у рості та розвитку, 4 – пригнічення, 5 – утруднена дефекація, 6 – виснаження, 7 – зниження апетиту, 8 – спрага, 9 – блювання, 10 – здуття черева, 11 – болочистість черевної стінки при пальпації, 12 – діарея

Анемічність слизових оболонок виявляли у 60,5 % інвазованих собак, тьмяність шерстного покриву – у 39,5 %, затримку у рості та розвитку – у 52,6 %, пригнічення – у 31,6 %, утруднену дефекацію – у 5,2 %, зниження апетиту – у 57,9 %, спрагу – у 13,2 %, блювання – у 7,9 %, здуття черева – у 7,9 %, болючість черевної стінки при пальпації – у 10,9 %, діарею – у 13,0 %.

Разом з тим, у собак за трихурозної моноінвазії виявлено 6 клінічних симптомів, які були виражені значною мірою (рис. 2). З-поміж них реєстрували анемічність слизових оболонок – у 29,0 % тварин, тьмяність шерстного покриву – у 55,3 %, затримку у рості та розвитку – у 44,8 %, пригнічення – у 5,2 %, зниження апетиту – у 31,6 %, діарею – у 13,2 %.

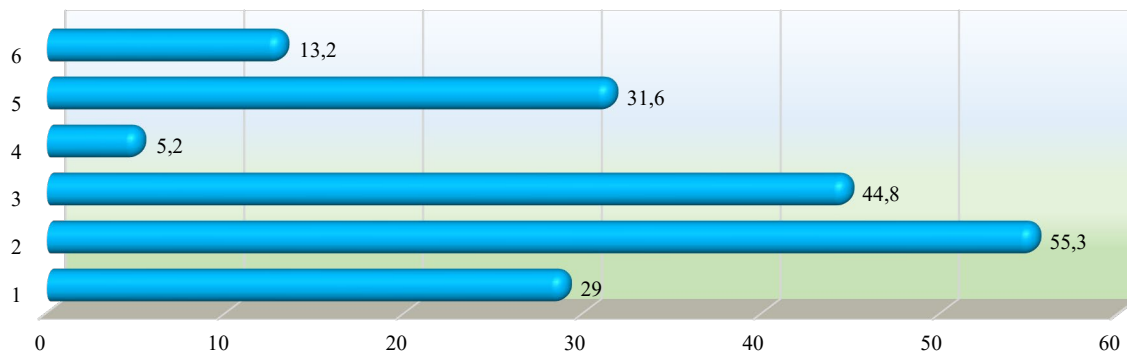


Рис. 2. Клінічні ознаки, що виражені значною мірою, за трихурозної моноінвазії у собак (n=38, %):
1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерстного покриву, 3 – затримка у рості та розвитку, 4 – пригнічення, 5 – зниження апетиту, 6 – діарея

За трихурозно-токсокарозної мікстинвазії всього виявлено 15 клінічних симптомів, які були виражені незначною мірою (рис. 3). Зокрема, анемічність слизових оболонок виявляли у 38,1 % інвазованих собак, тьмяність шерстного покриву – у 23,8 %, затримку у рості та розвитку – у 33,3 %, пригнічення – у 47,6 %, утруднену дефекацію – у 23,8 %, виснаження – у 9,6 %, кашель – у 62,0 %, періодичне утруднене дихання – у 19,0 %, зниження апетиту – у 57,1 %, відмову від корму – у 9,6 %, спрагу – у 66,6 %, блювання – у 57,1 %, здуття черева – у 28,4 %, болючість черевної стінки при пальпації – у 23,8 %, діарею – у 57,1 %.

утруднену дефекацію – у 23,8 %, виснаження – у 9,6 %, кашель – у 62,0 %, періодичне утруднене дихання – у 19,0 %, зниження апетиту – у 57,1 %, відмову від корму – у 9,6 %, спрагу – у 66,6 %, блювання – у 57,1 %, здуття черева – у 28,4 %, болючість черевної стінки при пальпації – у 23,8 %, діарею – у 57,1 %.

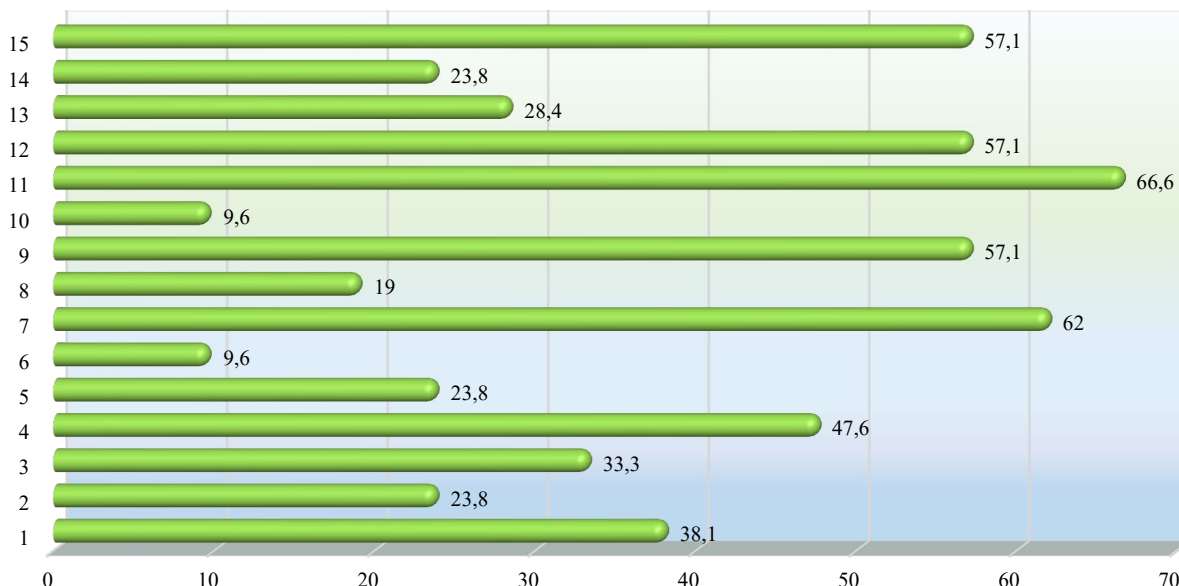


Рис. 3. Клінічні ознаки, що виражені незначною мірою, за трихурозно-токсокарозної мікстинвазії у собак (n=21, %):
1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерстного покриву, 3 – затримка у рості та розвитку, 4 – пригнічення, 5 – утруднена дефекація, 6 – виснаження, 7 – кашель, 8 – утруднене дихання, 9 – зниження апетиту, 10 – відмова від корму, 11 – спрага, 12 – блювання, 13 – здуття черева, 14 – болючість черевної стінки при пальпації, 15 – діарея

Водночас, виявлено 10 клінічних симптомів, які були виражені значною мірою (рис. 4). З-поміж них реєстрували анемічність слизових оболонок виявляли у 57,1 % інвазованих собак, тьмяність шерстного покриву – у 76,2 %, затримку у рості та розвитку – у

57,1 %, пригнічення – у 9,6 %, кашель – у 19,0 %, зниження апетиту – у 33,3 %, спрагу – у 9,6 %, здуття черева – у 9,6 %, болючість черевної стінки при пальпації – у 9,6 %, діарею – у 19,0 %.

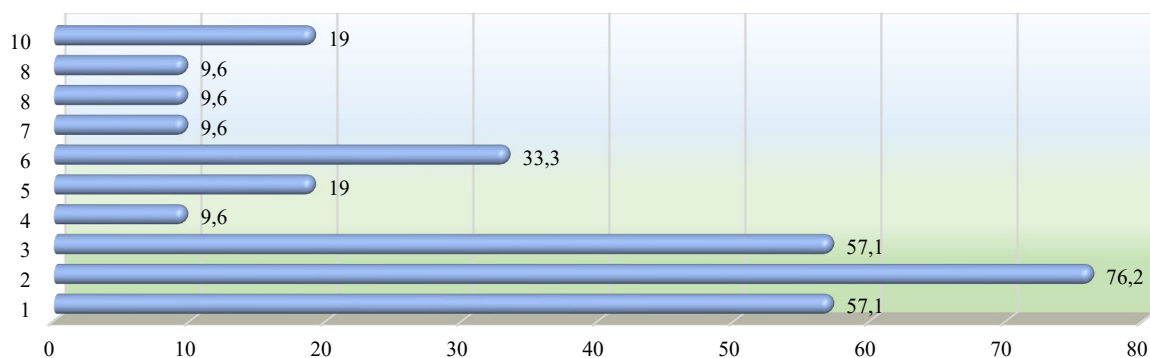


Рис. 4. Клінічні ознаки, що виражені значною мірою, за трихуринозно-токсокарозовою мікстинвазією у собак (n=21, %):

1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерстного покриву, 3 – затримка у рості та розвитку, 4 – пригнічення, 5 – утруднена дефекація, 6 – виснаження, 7 – кашель, 8 – здуття черева, 9 – болючість черевної стінки при пальпації, 10 – діарея

За трихуринозно-токсокарозово-дипілідіозної мікстинвазії виявлено 15 клінічних симптомів, які були виражені як незначною мірою (рис. 5), так і значною мірою (рис. 6). Зокрема, відповідно анемічність слизових оболонок виявляли у 37,5 та 62,5 % інвазованих собак, тьмяність шерстного покриву – у 12,5 та 87,5 %, затримку у рості та розвитку – у 25,0 та 75,0 %, пригнічення – у 62,5 та 25,0 %, утруднену дефекацію – у 12,5

та 6,3 %, виснаження – у 50,0 та 25,0 %, кашель – у 62,5 та 25,0 %, утруднене дихання – у 62,5 та 6,3 %, зниження апетиту – у 68,8 та 31,3 %, відмову від корму – у 37,5 та 12,5 %, спрагу – у 75,0 та 12,5 %, блювання – у 62,5 та 12,5 %, здуття черева – у 50,0 та 18,8 %, болючість черевної стінки при пальпації – у 37,5 та 18, %, діарею – у 31,3 та 50,0 %.

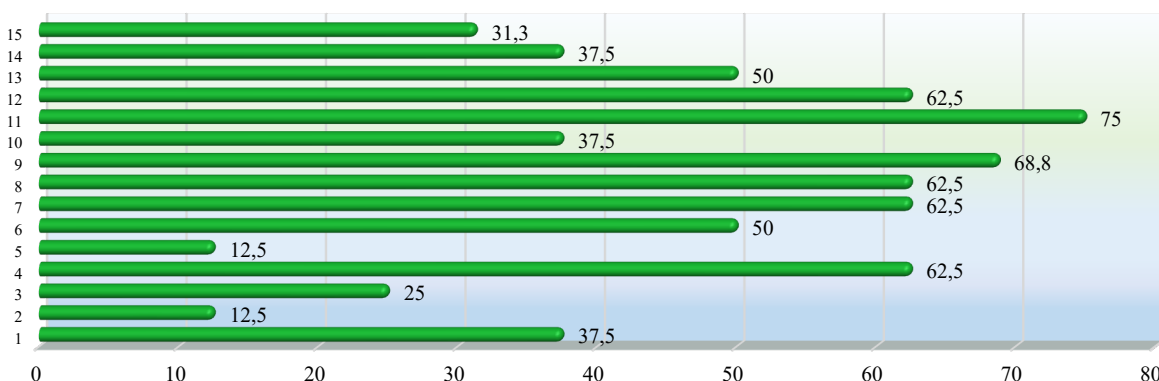


Рис. 5. Клінічні ознаки, що виражені незначною мірою, за трихуринозно-токсокарозово-дипілідіозної мікстинвазією у собак (n=16, %):

1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерстного покриву, 3 – затримка у рості та розвитку, 4 – пригнічення, 5 – утруднена дефекація, 6 – виснаження, 7 – кашель, 8 – утруднене дихання, 9 – зниження апетиту, 10 – відмова від корму, 11 – спрага, 12 – блювання, 13 – здуття черева, 14 – болючість черевної стінки при пальпації, 15 – діарея

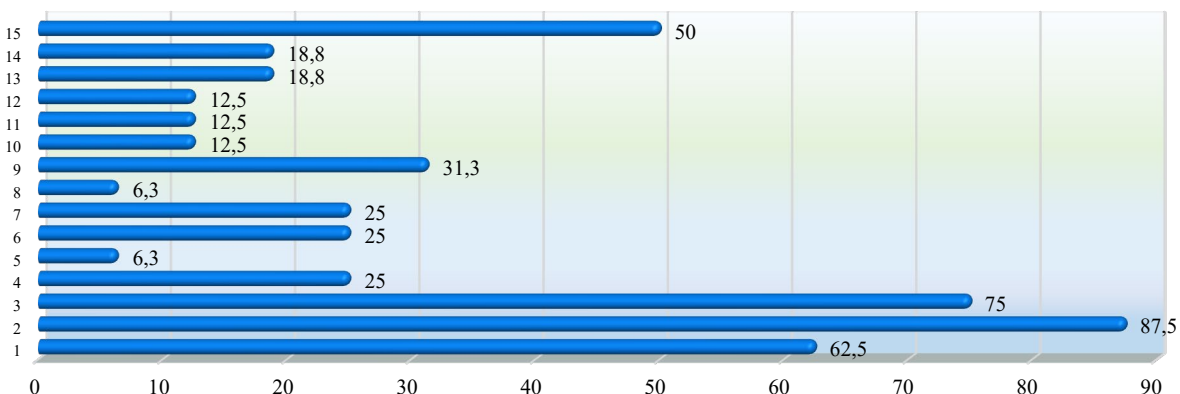


Рис. 6. Клінічні ознаки, що виражені значною мірою, за трихуринозно-токсокарозово-дипілідіозної мікстинвазією у собак (n=16, %):

1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерстного покриву, 3 – затримка у рості та розвитку, 4 – пригнічення, 5 – утруднена дефекація, 6 – виснаження, 7 – кашель, 8 – утруднене дихання, 9 – зниження апетиту, 10 – відмова від корму, 11 – спрага, 12 – блювання, 13 – здуття черева, 14 – болючість черевної стінки при пальпації, 15 – діарея

Наукова література свідчить, що симптоматика за шлунково-кишкових гельмінтозів у тварин значно різниться, може бути, також, без явних клінічних проявів та залежить від багатьох факторів таких, як вік тварини, спосіб утримання, вид збудника, інтенсивність інвазії, загальний стан організму, тощо [17–21]. Тому, актуальним є встановлення особливостей клінічного прояву за кишкових моно- та мікстінвазій у собак.

Нами вперше було визначено клінічний прояв трихуринозної моноінвазії та мікстінвазій за паразитування трихурисів, токсокар та дипілідій у собак. Встановлено, що за трихуринозної моноінвазії у собак всього виявлено 12 клінічних симптомів, які були виражені незначною мірою. 3-поміж них найчастіше виявляли анемічність слизових оболонок (60,5 %), затримку у рості та розвитку (52,6 %), зниження апетиту (57,9 %). Значною мірою були виражені 6 клінічних симптомів, з яких найчастіше виявляли тьмяність шерстного покриву (55,3 %). За трихуринозно-токсокарозної мікстінвазії у собак виявлено 15 клінічних симптомів, які були виражені незначною мірою. Найчастіше виявляли кашель (62,0 %), зниження апетиту (57,1 %), спрагу (66,6 %), блювання (57,1 %), діарею (57,1 %). Значною мірою були виражені 10 клінічних симптомів, з яких найчастіше виявляли анемічність слизових оболонок (57,1 %), тьмяність шерстного покриву (76,2 %), затримку у рості та розвитку (57,1 %). За трихуринозно-токсокарозно-дипілідіозної мікстінвазії виявлено 15 клінічних симптомів, які були виражені незначною, а також значною мірою відповідно у 12,5–75,0 % та 6,3–87,5 % інвазованих тварин.

Є повідомлення, де автори зазначають, що у цуценят, заражених гельмінтами, спостерігаються клінічні ознаки, такі як відставання у рості та розвитку, здуття черева, блювота, діарея, кашель [17]. Також дослідники довели, що паразитування личинок токсокар в організмі собак можуть викликати респіраторні симптоми [19].

Отримані дані дозволяють враховувати зміни, які відбуваються в біохімічних показниках сироватки крові інвазованих собак за моно- та мікстінвазій, при призначенні лікування та отримання більш результативного терапевтичного ефекту.

Висновки

Встановлено, що трихуринозна моноінвазія у собак проявлялася клінічними симптомами, 12 з яких були виражені незначною мірою, а 6 – виражені значною мірою. Найчастіше виявляли діарею (81,6 %), анемічність видимих слизових оболонок та зниження апетиту (89,5 %), тьмяність шерстного покриву (94,7 %), затримку у рості та розвитку (97,4 %). Клінічний перебіг за трихуринозно-токсокарозної мікстінвазії у собак виявився більш яскравим, де 15 симптомів були виражені незначною мірою, а 10 – виражені значною мірою. Найчастіше виявляли тьмяність шерстного покриву (100,0 %), анемічність слизових оболонок (95,2 %), затримку у рості та розвитку, зниження апетиту (90,4 %), кашель (81,0 %), спрагу та діарею (76,2 %), пригнічення та блювання (57,1 %). Клінічний перебіг за трихуринозно-

токсокарозно-дипілідіозної мікстінвазії у собак виявився ще більш тяжким, де 15 симптомів були виражені як незначною мірою, так і значною мірою. Найчастіше виявляли анемічність слизових оболонок, тьмяність шерстного покриву, затримку у рості та розвитку, зниження апетиту (100,0 %), пригнічення, кашель, спрагу (87,5 %), діарею (81,2 %), виснаження, блювання (75,0 %), утруднене дихання, здуття черева (68,8 %), болючість черевної стінки при пальпації (56,3 %), відмову від корму (50,0 %).

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автор підтверджує, що всі маніпуляції та дослідження тварин проведені відповідно до Європейської конвенції про захист хребетних тварин (Страсбург, 1986), національних етичних норм та міжнародних стандартів.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автор заявляє, що не використовував штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Blagburn, B. L., Lindsay, D. S., Vaughan, J. L., Rippey, N. S., Wright, J. C., Lynn, R. C., Kelch, W. J., Ritchie, G. C., & Hepler, D. I. (1996). Prevalence of canine parasites based on fecal flotation. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 18 (5), 483–509.
2. Heukelbach, J., Wilcke, T., Meier, A., Sabóia Moura, R. C., & Feldmeier, H. (2003). A longitudinal study on cutaneous larva migrans in an impoverished Brazilian township. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 1 (4), 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.tmaid.2003.10.003>
3. Akao, N., & Ohta, N. (2007). Toxocariasis in Japan. *Parasitology International*, 56 (2), 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2007.01.009>
4. Ugabomoiko, U. S., Ariza, L., & Heukelbach, J. (2008). Parasites of importance for human health in Nigerian dogs: high prevalence and limited knowledge of pet owners. *BMC Veterinary Research*, 4 (1). <https://doi.org/10.1186/1746-6148-4-49>
5. Gaunt, M. C., & Carr, A. P. (2011). A survey of intestinal parasites in dogs from Saskatoon, Saskatchewan. *Canadian Veterinary Journal*, 52 (5), 497–500.
6. Mirzaei, M., & Fooladi, M. (2012). Prevalence of intestinal helminthes in owned dogs in Kerman city, Iran. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 5 (9), 735–737. [https://doi.org/10.1016/s1995-7645\(12\)60116-3](https://doi.org/10.1016/s1995-7645(12)60116-3)
7. Kimura, A., Morishima, Y., Nagahama, S., Horikoshi, T., Edagawa, A., Kawabuchi-Kurata, T., Sugiyama, H., & Yamasaki, H. (2013). A coprological survey of intestinal helminthes in stray dogs captured in Osaka prefecture, Japan. *Journal of Veterinary Medical Science*, 75 (10), 1409–1411. <https://doi.org/10.1292/jvms.12-0499>

8. Anene, B. M., Nnaji, T. O., & Chime, A. B. (1996). Intestinal parasitic infections of dogs in the Nsukka area of Enugu State, Nigeria. *Preventive Veterinary Medicine*, 27 (1-2), 89–94. [https://doi.org/10.1016/0167-5877\(95\)00527-7](https://doi.org/10.1016/0167-5877(95)00527-7)
9. Martínez-Moreno, F. J., Hernández, S., López-Cobos, E., Becerra, C., Acosta, I., & Martínez-Moreno, A. (2007). Estimation of canine intestinal parasites in Córdoba (Spain) and their risk to public health. *Veterinary Parasitology*, 143 (1), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2006.08.004>
10. Amadi, A. N. C., Obeten, P. I., & Chukwumeka, B. C. (2021). Prevalence of helminths parasites among dogs and risk factors of zoonotic infections by dog Owners in Bende Local Government Area, Abia State, Nigeria. *Nigerian Journal of Parasitology*, 42 (2), 275–286. <https://doi.org/10.4314/njpar.v42i2.12>
11. Kutdang, E. T., Bukbuk, D. N., & Ajayi, J. A. A. (2010). The prevalence of intestinal helminths of dogs (*Canis familiaris*) in Jos, Plateau State, Nigeria. *Researcher*, 2 (8), 51–56.
12. Traversa, D. (2011). Are we paying too much attention to cardio-pulmonary nematodes and neglecting old-fashioned worms like *Trichuris vulpis*? *Parasites & Vectors*, 4 (1), 32. <https://doi.org/10.1186/1756-3305-4-32>
13. Wu, T. K., & Bowman, D. D. (2022). *Toxocara canis*. *Trends in Parasitology*, 38 (8), 709–710. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2022.01.002>
14. Kotomski, G. (2003). Odrobaczać czy nie odrobaczać? [To deworm or not to deworm?]. *Magazyn Weterynaryjny*, 11 (84), 5–6.
15. Soriano, S. V., Pierangeli, N. B., Roccia, I., Bergagna, H. F. J., Lazzarini, L. E., Celescinco, A., Saiz, M. S., Kossman, A., Contreras, P. A., Arias, C., & Basualdo, J. A. (2010). A wide diversity of zoonotic intestinal parasites infects urban and rural dogs in Neuquén, Patagonia, Argentina. *Veterinary Parasitology*, 167 (1), 81–85. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.09.048>
16. Okoye, I. C., Obiezue, N. R., Okorie, C. E., & Ofoezie, I. E. (2010). Epidemiology of intestinal helminth parasites in stray dogs from markets in south-eastern Nigeria. *Journal of Helminthology*, 85 (4), 415–420. <https://doi.org/10.1017/s0022149x10000738>
17. Ramírez-Barrios, R. A., Barboza-Mena, G., Muñoz, J., Angulo-Cubillán, F., Hernández, E., González, F., & Escalona, F. (2004). Prevalence of intestinal parasites in dogs under veterinary care in Maracaibo, Venezuela. *Veterinary Parasitology*, 121 (1-2), 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.02.024>
18. Wright, I., & Wolfe, A. (2007). Prevalence of zoonotic nematode species in dogs in Lancashire. *Veterinary Record*, 161 (23), 790.
19. Wright, I., Stafford, K., & Coles, G. (2016). The prevalence of intestinal nematodes in cats and dogs from Lancashire, north-west England. *Journal of Small Animal Practice*, 57 (8), 393–395. <https://doi.org/10.1111/jsap.12478>
20. Miller, T. A. (1968). Pathogenesis and immunity in hookworm infection. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 62 (4), 473–489. [https://doi.org/10.1016/0035-9203\(68\)90130-2](https://doi.org/10.1016/0035-9203(68)90130-2)
21. Bhavani Mohan, S., Santhanakumar, K., & Bhat, A. A. (2022). Endoscopic recognition and management of *Trichuris vulpis* induced colitis in three dogs: A case report. *Iranian Journal of Parasitology*, 17 (2), 282–285. <https://doi.org/10.18502/ijpa.v17i2.9547>
22. Melnychuk, V. V., Kitichenko, A. S., Suvorov, R. S., Pohorelova, H. M., Yevstafieva, V. O., & Hudz, N. V. (2025). *Sposib koproskopichnoho doslidzhennia sobak na naiavnist yaits zbudnykiv nematodoziv travnoho traktu ta ootsyst tsystoizospor* [Method of coproscopic examination of dogs for the presence of eggs of pathogens of digestive tract nematodoses and cystoisospora oocysts] (Patent on utility model No. 159636). State Patent Office of Ukraine. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1861787/> [in Ukrainian]

ORCID

D. Kryvoruchenko 

<https://orcid.org/0000-0002-2044-8019>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Phagocytic activity of leukocytes in pigs exposed to nanoaquachelates considering autonomic nervous system types

P. Khymynets¹ | V. Karpovskiy¹ | O. Zhurenko¹ | R. Nahorets¹ | R. Grelya¹ | I. Hryshchuk¹ |
P. Karpovskiy² | O. Kovalchuk¹

Article info

Correspondence Author

V. Karpovskiy

E-mail:

karpovskiy@meta.ua

¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroiv Defence Str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

² Institute of Climate-Smart Agriculture of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 24 Maiatska Doroha St., Khlivodarske Settlement, Odesa District, Odesa Region, 67667, Ukraine

Citation: Khymynets, P., Karpovskiy, V., Zhurenko, O., Nahorets, R., Grelya, R., Hryshchuk, I., Karpovskiy, P., & Kovalchuk, O. (2026). Phagocytic activity of leukocytes in pigs exposed to nanoaquachelates considering autonomic nervous system types. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 110–116. doi: 10.31210/spi2026.29.01.18

The development and evaluation of feed additives that ensure the stability of the immune system in pigs is a pressing issue today, as technological stress has a negative impact on this indicator. The aim of the study was to determine changes in the phagocytic activity of leukocytes when using nanoaquachelates in pigs, taking into account the individual characteristics of their organisms. The groups of animals were formed using a variational-pulsometric study, which resulted in three groups: sympathotonics, vagotonics, and normotonics, which were then divided into control and experimental groups. The experimental groups were given a mixture of nanoaquachelates at a dose of 3 mg/day of iron and 0.01 mg/day of germanium per head. The results of phagocytic activity of leukocytes were evaluated using a spectrophotometer, and the results obtained were calculated using a calibration graph. According to the data obtained, it was established that in normotonic animals of the experimental group, compared to the control group, on day 40, leukocyte activity was 6.5 % higher ($P < 0.01$), and on day 70 of the study, this indicator was 6.2 % higher ($P < 0.01$). In vagotonic patients in the experimental group, compared to the control group, there was an increase in the indicator by 5.2 % ($P < 0.05$) after 40 days and by 6.4 % ($P < 0.01$) at the end of 70 days. In sympathotonics in the experimental group compared to the control group, there was an increase in the indicator on day 40 of 4.7 % ($P < 0.01$) and on day 70 of 4.8 % ($P < 0.01$). According to the results of the study, it was found that, depending on the individual characteristics of the pigs' organism, the indicators of phagocytic activity of leukocytes when using a feed additive differ in their values, which is caused by the activity of the autonomic nervous system. Further research involves determining the appropriate doses of nanoaquachelates for each group individually in order to achieve the greatest effectiveness of the modified diet in terms of the immune system.

Keywords: feed additives, productive animals, immunity, blood, diet.

Фагоцитарна активність лейкоцитів у свиней з урахуванням автономної нервової системи при застосуванні наноаквахелатів

П. С. Химинець¹ | В. І. Карповський¹ | О. В. Журенко¹ | Р. В. Нагорець¹ | Р. В. Греля¹ |
І. А. Гришук¹ | П. В. Карповський² | О. О. Ковальчук¹

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна

² Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства НААН України, с. Хлібодарське, Одеська обл., Україна

Розробка та оцінка кормових добавок, які забезпечують сталість імунної системи свиней, актуальне питання сьогодення, адже технологічний стрес досить негативно впливає на даний показник. Метою дослідження було встановити зміни фагоцитарної активності лейкоцитів при використанні наноаквахелатів у свиней з урахуванням індивідуальних особливостей їхнього організму. Групи тварин формували за допомогою варіаційно-пульсометричного дослідження, завдяки чому, було отримано три групи: симпатотоніки, ваготоніки, нормотоніки, які потім розподілили на контрольну і дослідну. Дослідним групам випоювали суміш наноаквахелатів у дозі на голову феруму – 3 мг/добу та германію – 0,01 мг/добу. Результати фагоцитарної активності лейкоцитів оцінювали за допомогою спектрофотометра, а отримані результати вираховували за допомогою калібрувального графіка. Згідно з отриманими даними дослідження встановлено, що у нормотоніків дослідної групи відносно контрольної на 40-й день була більша активність лейкоцитів на 6,5 % ($P < 0,01$), а на 70-й день дослідження даний показник становив на 6,2 % ($P < 0,01$) більше. У ваготоніків дослідної групи відносно контрольної групи був приріст показника на 5,2 % ($P < 0,05$) після 40 днів та на 6,4 % ($P < 0,01$) на 70-й день. У симпатотоніків дослідної групи відносно контрольної групи був приріст показника на 4,7 % ($P < 0,01$), а на 70-й день 4,8 % ($P < 0,01$). Згідно з результатами дослідження встановлено, що залежно від індивідуальних особливостей організму свиней показники фагоцитарної активності лейкоцитів при застосуванні кормової добавки мають відмінності, спричинені активністю автономної нервової системи. Подальше дослідження полягає у формуванні відповідних доз наноаквахелатів для кожної групи індивідуально, щоб отримати найбільшу ефективність модифікованого раціону з боку імунної системи. Впровадження такого індивідуального підходу в практику свинарства дозволить підвищити резистентність організму тварин та нівелювати наслідки інтенсивного технологічного стресу.

Ключові слова: кормові добавки, продуктивні тварини, імунітет, кров, раціон.

Бібліографічний опис для цитування: Химинець П. С., Карповський В. І., Журенко О. В., Нагорець Р. В., Греля Р. В., Гришук І. А., Карповський П. В., Ковальчук О. О. Фагоцитарна активність лейкоцитів у свиней з урахуванням автономної нервової системи при застосуванні наноаквахелатів. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 110–116.

Вступ

Свинарство сьогодення стало розвиватися саме завдяки постійному контролю таких факторів, як фізіологічні, екологічні та соціальні. Нехтування цим стає причиною негативних наслідків для здоров'я тварин, що спричинює зменшення продуктивності [5, 18]. За рахунок цього ефективною стратегією управління свиногомплексами є підтримання здоров'я поголів'я. Одним із актуальних питань покращення є питання, пов'язані із оцінкою стану імунної системи. І у разі потреби, застосовувати методи покращення її функціонування [19, 21].

Для зменшення використання антимікробних препаратів, що покращують здатність організму тварини протидіяти патогенним факторам, часто використовують різні комбінації кормових добавок із мікроелементами. Залежно від дози та частоти їх застосування, можна регулювати багато фізіологічних процесів в організмі. Наприклад, використання германію спричинює покращення функціонування імунної системи [4, 13]. Це забезпечується завдяки тому, що він підвищує активність макрофагів, НК-клітин, Т-клітин та утворення антитіл. Такі особливості сприяють його використанню як одного із компонентів імуностимулятора у тварин. Також досить часто використовують залізо у комбінаціях з іншими мінеральними речовинами. Даний хімічний елемент продемонстрував себе досить добре у покращенні організму з боку антиоксидантної системи та енергетичному обміні. Що позитивно відображається на інших функціональних системах [6, 15].

Однак при застосуванні кормових добавок досить часто формують лише дві групи – контрольну і дослідну для оцінки ефективності. За рахунок цього не враховуються фізіологічні особливості організму тварини. Тому досить часто використання різних раціонів годівлі має значну розбіжність у показниках під час оцінки здоров'я свиней [8, 14]. Найбільш ефективним та швидким методом дослідження індивідуальних особливостей тварин, є визначення впливу відділів автономної нервової системи на організм. Адже саме вони забезпечують в більшій мірі корекцію метаболічних процесів залежно від впливу зовнішніх факторів і першими активуються у протидії стресовим факторам [7, 23].

Тому вивчення впливу кормової добавки на показники бактерицидної активності з урахуванням впливу автономної нервової системи є актуальним питанням сьогодення.

Мета дослідження

Дослідити зміни фагоцитарної активності лейкоцитів у свиней з урахуванням індивідуальних особливостей організму при застосуванні наноаквахелатів.

Матеріали і методи

Експериментальні дослідження виконувалися на базі свиногомплексу ТОВ «Кошет» (село Чопівці, Мукачівського району, Закарпатської області) у 2025 році.

Формування груп тварин виконувалося у два етапи. Перший полягав у формуванні трьох груп відповідно до тону автономної нервової системи, за допомогою варіаційно-пульсометричного дослідження. Другий етап стосувався формування з кожної отриманої групи симпатотоніків, ваготоніків та нормотоніків контрольних та дослідних груп. Дослідним групам випоювали суміш наноаквахелатів в дозі на голову заліза – 3 мг/добу та германію – 0,01 мг/добу. Відбір крові виконували із краніальної порожнистої вени в місці жолобу, утвореного довгими мускулами ший зліва або справа на 1–2 см збоку від трахеї та на 1–2 см вище від грудної кістки.

Фагоцитарну активність лейкоцитів вимірювали спектрофотометром, а отримані результати вираховували за допомогою калібрувального графіка.

Статистичний аналіз виконували за допомогою програми Microsoft Excel.

Результати та їх обговорення

Досліджуючи фагоцитарну активність лейкоцитів у сироватці крові свиней, були визначені показники на 40-ву та 70-ту добу у контрольної і дослідної груп. Було виконано статистичну оцінку даних для перевірки значимості результатів (*табл. 1*).

Таблиця 1

Статистичний аналіз показників фагоцитарної активності лейкоцитів у свиней нормотоніків

Нормотоніки	μ	SE	σ	s^2	A	Мін.	Макс.
Контроль 40 доба %	60,23	0,87	1,94	3,75	-0,62	57,68	62,12
Дослід 40 доба %	64,16	0,67	1,49	2,22	0,50	62,34	66,32
Контроль 70 доба %	60,54	0,90	2,01	4,04	4,84	57,88	62,72
Дослід 70 доба %	64,28	0,67	1,50	2,25	0,43	62,44	66,41

Примітки: μ – середнє значення; SE – стандартна помилка; σ – стандартне відхилення; s^2 – дисперсія вибірки; A – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

За статистичного аналізу отриманих даних на 40-й день використання кормової добавки на основі наноаквахелатів у дослідної групи свиней визначено малу стандартну помилку та трохи більше стандартне відхилення, що на фоні вихідного середнього значення, відображає допустимі значення даних величин. Дисперсійна вибірка, за аналізу вибірки від п'яти тварин відображає досить малу розсіяність значень. Асиметричність описується як негативна мала. Різниця між максимальним і мінімальним значенням у 3,98 % додатково свідчить про невелику розбіжність даних, враховуючи величину середнього показника.

70-й день мав дещо кращі показники в загальному по п'яти тваринах з боку статистичного аналізу, підставами чого стали показники стандартної помилки та стандартного відхилення, що відіграють роль у оцінці точності результатів. З урахуванням цього, вони були меншими в порівнянні з 40-м днем даної групи. Дисперсійна вибірка із п'яти показників фагоцитарної активності лейкоцитів описується як невелика розбіжність за оцінкою середнього

значення. Асиметричність була мало позитивною. Різниця між максимальним і мінімальним значенням становила 3,97 %, що описує незначну розбіжність результатів.

Показники фагоцитарної активності сироватки крові контрольної групи на 40-й день характеризувалися малою стандартною помилкою та трохи більшим стандартним відхиленням, за показником середнього значення відносяться до допустимих меж. Дисперсійна вибірка при зіставленні із середнім значенням п'яти показників відображає досить малу розсіяність значень у даній вибірці. Асиметричність описується як позитивна мала. Різниця між максимальним і мінімальним значенням у 4,44 % свідчить про невелику розбіжність даних, враховуючи величину середнього показника.

На 70-й день статистичні показники у контрольній групі дещо збільшилися, загалом по п'яти тваринах. Це може свідчити про відсутність фактора, що сприяє корекції даного показника, як, наприклад, у дослідній групі. Однак показники стандартної помилки та стандартного відхилення, що відіграють роль в оцінці точності результатів, залишалися досить низькими. Дисперсійна вибірка із п'яти показників фагоцитарної активності лейкоцитів, описується як невелика розбіжність при оцінці середнього значення. Асиметричність була незначно позитивною. Різниця між максимальним і мінімальним значенням становила 4,84 %, що описує незначну розбіжність результатів.

Досліджуючи фагоцитарну активність лейкоцитів у сироватці крові свиней ваготоніків, встановлено показники на 40-ву та 70-ту добу у контрольній і дослідній груп. Було виконано статистичну оцінку даних для перевірки значимості результатів (*табл. 2*).

Таблиця 2

Статистичний аналіз показників фагоцитарної активності лейкоцитів у свиней ваготоніків

Ваготоніки	μ	SE	σ	s^2	A	Мін.	Макс.
Контроль 40 доба	58,87	0,70	1,56	2,42	-0,56	57,12	60,23
Дослід 40 доба	61,93	0,64	1,44	2,06	0,20	60,08	63,91
Контроль 70 доба	58,80	0,68	1,52	2,31	-0,62	56,97	60,03
Дослід 70 доба	62,55	0,55	1,22	1,49	0,87	61,49	64,34

Примітки: μ – середнє значення; SE – стандартна помилка; σ – стандартне відхилення; s^2 – дисперсія вибірки; A – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

Статистичні показники 40-го дня застосування кормової добавки на основі наноаквахелатів у дослідній групі свиней мали невелику стандартну помилку та трохи більше стандартне відхилення, при врахуванні значення середнього показника описує невеликі значення даних величин. Дисперсія вибірки п'яти показників оцінюється як мала розсіяність значень. Асиметричність характеризувалася малою позитивністю. Різниця між максимальним і мінімальним значенням у 3,83 % свідчить про невелику розбіжність даних, враховуючи величину середнього показника.

На 70-й день загальні статистичні показники по п'яти дослідним групам тварин, такі як стандартна помилка та стандартне відхилення, були меншими в порівнянні з 40-м днем, що описує меншу розбіжність даних. Дисперсійна вибірка характеризувала малу розсіяність статистичних показників. Асиметричність була невеликою позитивною. Різниця між максимальним і мінімальним значенням становила 2,85 %, що описує незначну розбіжність результатів.

Фагоцитарна активність лейкоцитів контрольної групи свиней ваготоніків мала відносно недосить великі показники стандартної помилки та стандартного відхилення, що спираються на підставі середнього значення, отриманого від п'яти тварин. Дисперсійна вибірка відображала невеликий розподіл отриманих показників. Асиметричність представлена негативною з малою асиметричністю даних. Показники різниці максимального та мінімального значення, що становлять 3,11 %, відображають незначну розсіяність результатів фагоцитарної активності лейкоцитів.

Розглядаючи показники 70-го дня дослідження у контрольній групі ваготоніків, варто відзначити незначну зміну статистичних даних. Стандартна помилка та стандартне відхилення, були відносно сталими в порівнянні з 40-м днем та в межах допустимих значень. Дисперсна вибірка в межах п'яти змінних показників, відображає невелику розбіжність вихідних значень. Асиметричність була негативною та незначно асиметричною. Значення різниці максимального та мінімального значення в 3,06 % додатково підтверджує точність отриманих результатів.

Тварини групи симпатотоніків контрольної та дослідної групи за показником фагоцитарної активності лейкоцитів мали результати на 40-й та 70-й день застосування кормової добавки наноаквахелатів, що були статистично обраховані у *таблиці 3*.

Таблиця 3

Статистичний аналіз показників фагоцитарної активності лейкоцитів у свиней симпатотоніків

Ваготоніки	μ	SE	σ	s^2	A	Мін.	Макс.
Контроль 40 доба	62,03	0,67	1,51	2,27	0,09	59,98	64,14
Дослід 40 доба	64,97	0,37	0,83	0,69	0,16	63,94	66,05
Контроль 70 доба	62,22	0,67	1,49	2,22	0,19	60,23	64,32
Дослід 70 доба	65,16	0,38	0,85	0,73	-0,14	64,01	66,24

Примітки: μ – середнє значення; SE – стандартна помилка; σ – стандартне відхилення; s^2 – дисперсія вибірки; A – асиметричність; Мін. – мінімальне значення; Макс. – максимальне значення.

Контрольна група свиней на 40-й день згідно зі статистичною оцінкою мала показники стандартної помилки та стандартного відхилення в межах допустимих значень, незважаючи на трохи більші показники стандартного відхилення. Дисперсія вибірки з урахуванням величини середнього показника свідчить про допустиму розбіжність отриманих результатів. Асиметричність даних відображена позитивною симетричною. Різниця між макси-

мальним і мінімальним значенням у 4,16 % вказує на незначну розбіжність результатів.

На 70-й день дослідження контрольна група симпатотоніків мала незначні зрушення показників фагоцитарної лейкоцитарної активності, що спричинено відсутністю фактора впливу на перемінні. Стандартна помилка та відхилення дотичні до допустимих змінних, що спричинені величиною середнього значення. Дисперсна вибірка мала невелику розбіжність значень фагоцитарної активності. Асиметричність позитивна з наближеною симетричністю. Показник різниці максимального та мінімального значення в 4,09 % характеризує невелику відмінність вихідних значень.

Дослідна група симпатотоніків на 40-й день застосування харчової добавки наноаквахелатів характеризувалася кращими результатами стандартної помилки та відхилення в порівнянні з контрольною групою. Дисперсна вибірка мала досить невеликі значення, що свідчать про малу розбіжність показників. Асиметричність позитивна з наближеною

симетричністю чисел. Різниця в 2,11 % між максимальним та мінімальним значенням, додатково підтверджує точність отриманих результатів.

70-й день у дослідній групі характеризувався сталими показниками статистичної помилки та відхилення, що підтверджують статистичну значимість даних. Розбіжність отриманих даних помірна згідно з показником дисперсної вибірки. Асиметричність негативна наближена до симетричності. Додатково, різниця в 2,23 % свідчить про незначну розбіжність даних лабораторного значення.

За оцінками між контрольною і дослідною групами нормотоніків визначено, що на 40-й день свині, які споживали кормову добавку, мали більшу активність лейкоцитів на 6,5 % ($P < 0,01$). На 70-й день завершення дослідження зберігається закономірність більшого результату бактерицидної активності сироватки крові саме у дослідній групі тварин, що складає на 6,2 % ($P < 0,01$) більше по відношенню до контрольної групи (рис. 1).

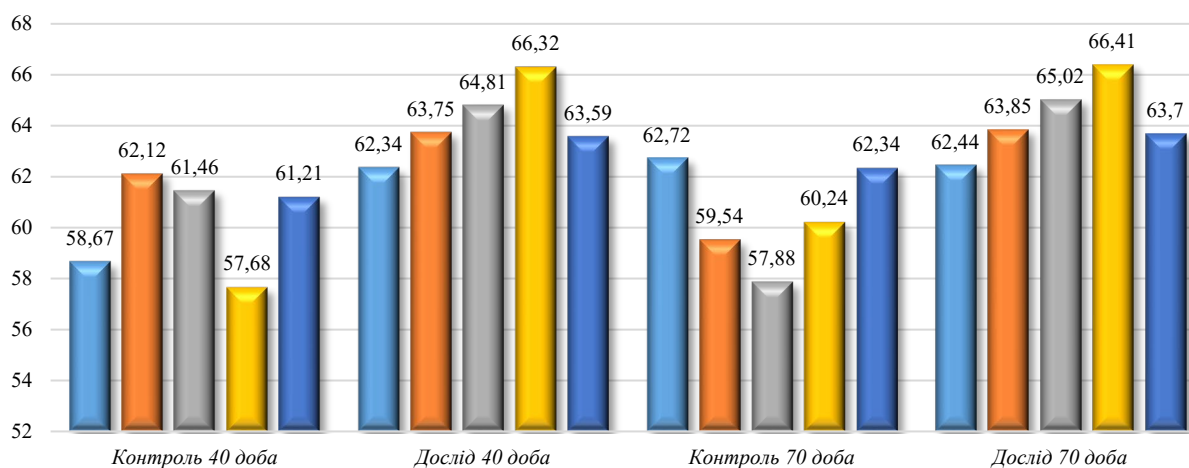


Рис. 1. Показники бактерицидної активності сироватки крові свиней контрольної і дослідної групи нормотоніків

Порівняння показників двох груп ваготоніків свідчить про зростання на 40-й день бактерицидної активності у дослідній групі на 5,2 % ($P < 0,05$) більше в порівнянні з контролем. Продовження застосування

кормової добавки на 70-й день збільшило показники бактерицидної активності сироватки крові дослідної групи свиней відносно тварин із стандартним раціоном годівлі на 6,4 % ($P < 0,01$) (рис. 2).

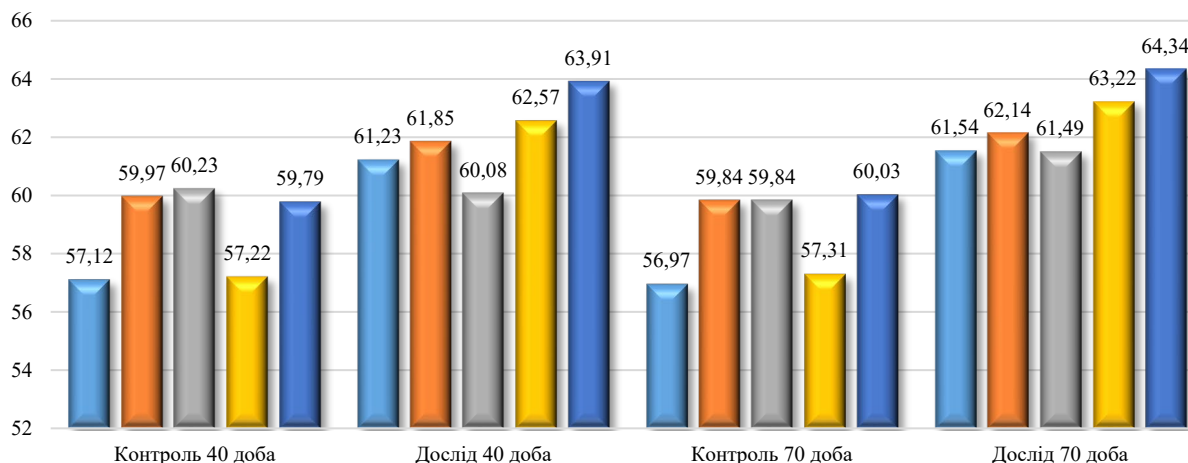


Рис. 2. Показники бактерицидної активності сироватки крові свиней контрольної і дослідної групи ваготоніків

За оцінками між контрольною і дослідною групами симпатотоніків визначено, що на 40-й день свині, які споживали кормову добавку, мали більшу активність лейкоцитів на 4,7 % ($P < 0,01$). На 70-й день завершення дослідження зберігається

закономірність більшого результату бактерицидної активності сироватки крові саме у дослідній групі тварин, що складає на 4,8 % ($P < 0,01$) більше по відношенню до контрольної групи (рис. 3).

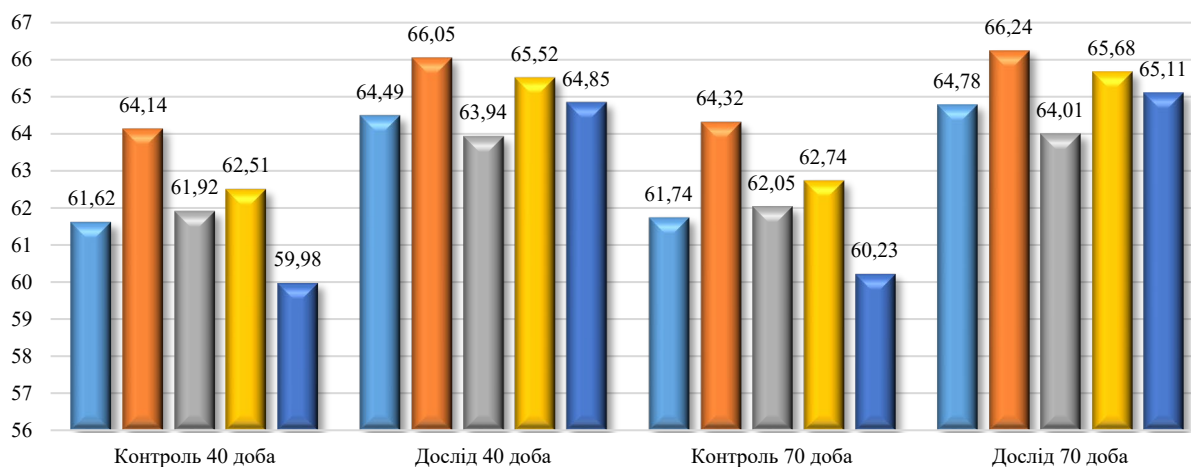


Рис. 3. Показники бактерицидної активності сироватки крові свиней контрольної і дослідної групи симпатотоніків

Роль мінералів в організмі тварин досить різноманітна, і стабілізація їхнього надходження з раціону – досить важливе завдання. Не враховуючи роль даних речовин як структурних елементів, вони забезпечують багато інших функцій [22]. Однією з яких є покращення імунної системи організму завдяки прямому або опосередкованому впливу. Імунна система досить важлива і враховується досить суттєво при вирощуванні сільськогосподарських тварин м'ясного напрямку [1, 10]. Адже порушення даної системи напрямку спричинює відставання у розвитку молодняка та навіть втрату їхньої маси, що негативно відображається як на здоров'ї тварини, так і на самому господарстві. Розробка нових кормових добавок та їх реалізація набули при цьому широкого розповсюдження, адже застосування антимікробних препаратів в більшості випадків заборонено [16, 17].

Chen, J. досліджував питання щодо підвищення рівня імунітету у свиней, застосовуючи лужний мінеральний комплекс. Основною метою його роботи було покращення показників стійкості і росту поросят після відлучення, оскільки стрес, викликаний даним етапом технологічного процесу на господарстві, спричинює виникнення стресу у тварин. Наслідком цього стає погіршення імунітету, що в подальшому впливає на загальний стан організму. Незважаючи на позитивний ефект використання кормової добавки, отримані показники не мали статистично значимих вірогідностей, що спричинено, скоріше за все, тим, що тварини не формувалися відповідно до їх індивідуальних особливостей [3].

Wang, S. зі співавторами вивчали вплив мікроелементів в дозі 12 мг/кг Cu, 30 мг/кг Fe, 90 мг/кг Zn, 70 мг/кг Mn, 0,30 мг/кг Se та 1,5 мг/кг на організм свиноматок та їх потомства. Згідно з отриманими результатами прослідковувалося зростання активності імунної системи їхнього організму, що забезпечувалося стимулюванням збільшення кількості імуноглобулінів IgA, IgG та IgM. Їх концентрація

зростала у ході дослідження. Результативність отриманих показників свідчить про проблему збалансованого розподілу тварин за групами, згідно з показником стандартної помилки, відповідно до якої зростав показник P в порівнянні з нашими результатами [20].

Chen, J. зі співавторами оцінювали застосування хелатів мінеральних елементів, таких як Cu, Fe, Mn та Zn в дозі 60 мг/кг. Даний раціон годівлі мав позитивний вплив на імунну систему та антиоксидантний статус у свиней в період відгодівлі. Також автором було встановлено, що при порівнянні кормових добавок неорганічного походження та альтернатив у вигляді хелатів мінеральних елементів другі мали більшу ефективність у досягненні необхідного результату згодованих кормових добавок. Проте за оцінки показників, отриманих у ході лабораторних досліджень, виявлено, що отримані дані мали розбіжності між тваринами дослідних груп, на відміну від наших результатів, отриманих при використанні наноаквахелатів, у групах, сформованих відповідно до індивідуальних особливостей [2].

Згідно з оцінкою використання кормових добавок, показники імунної системи значно покращуються. Причиною цього є позитивна дія мінеральних елементів на рівень лейкоцитів та на обмін речовин, що спричинює непрямий вплив на імунітет тварини. Застосування кормових добавок у реаліях господарства досить вигідне, оскільки виконуються заходи для запобігання розвитку вторинних проблем організму на фоні технологічного стресу, що досить поширений у свинарстві в період відлучення та етапів відгодівлі. Детальне вивчення ефективності даних кормових добавок часто обмежується аналізом груп тварин, таких як контрольна та дослідна, що є досить часто неінформативним, за рахунок високої розбіжності показників лабораторних досліджень. Вихід з цього – це формування та врахування індивідуальних особливостей організму тварин. Згідно з нашими результатами, розподіл свиней згідно з впливом

автономної нервової системи відобразив більш точні дані щодо змін з боку імунної системи за використання наноаквахелатів.

Висновки

Встановлено, що формування свиней відповідно до індивідуальних особливостей організму перед застосуванням кормової добавки забезпечує отримання точніших результатів дослідження. Визначено, що застосування наноаквахелатів свиням покращило імунний стан організму, збільшивши при цьому фагоцитарну активність лейкоцитів, що встановлено під час аналізу показників контрольної і дослідної групи. Оцінка тону автономної нервової системи збільшує статистичну точність показників, отриманих від груп тварин, підставою чого є значення стандартної похибки, відхилення, дисперсної вибірки та асиметричної.

Перспектива подальших досліджень полягає у формуванні індивідуальних доз кормової добавки для кожної групи тварин для максимізації ефекту застосованого раціону годівлі.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори підтверджують, що всі маніпуляції з тваринами проводилися з урахуванням основних принципів біоетики, відповідно до Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» [12], Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для експериментальних та інших наукових цілей (1986), Директиви 2010/63/EU [9] та «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим національним конгресом з біоетики України [11].

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Bujňák, L., Hreško Šamudovská, A., Mudroňová, D., Nad', P., Marcincák, S., Maskal'ová, I., Harčárová, M., Karaffová, V., & Bartkovský, M. (2023). The effect of dietary humic substances on cellular immunity and blood characteristics in piglets. *Agriculture*, 13 (3), 636. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030636>
2. Chen, J., Wang, H., Ma, Y., Zhang, Y., Wang, S., & Zang, J. (2022). Effects of the methionine hydroxyl analog chelated microminerals on growth performance, antioxidant status, and immune response of growing–finishing pigs. *Animal Science Journal*, 93 (1), e13730. <https://doi.org/10.1111/asj.13730>
3. Chen, J., Xu, Y.-R., Kang, J.-X., Zhao, B.-C., Dai, X.-Y., Qiu, B.-H., & Li, J.-L. (2022). Effects of alkaline mineral complex water supplementation on growth performance, inflammatory response, and intestinal barrier function in weaned piglets. *Journal of Animal Science*, 100 (10). <https://doi.org/10.1093/jas/skac251>
4. Christensen, B., Zhu, C., Mohammadigheisar, M., Schulze, H., Huber, L.-A., & Kiarie, E. G. (2022). Growth performance, immune status, gastrointestinal tract ecology, and function in nursery pigs fed enzymatically treated yeast without or with pharmacological levels of zinc. *Journal of Animal Science*, 100 (4). <https://doi.org/10.1093/jas/skac094>
5. Czech, A., Klimiuk, K., & Sembratowicz, I. (2023). The effect of thyme herb in diets for fattening pigs on their growth performance and health. *Plos One*, 18 (10), e0291054. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0291054>
6. Deng, Z.-C., Wang, J., Wang, J., Yan, Y.-Q., Huang, Y.-X., Chen, C.-Q., Sun, L.-h., & Liu, M. (2024). Tannic acid extracted from gallnut improves intestinal health with regulation of redox homeostasis and gut microbiota of weaned piglets. *Animal Research and One Health*, 2 (1), 16–27. <https://doi.org/10.1002/aro2.51>
7. Deng, Z., Duarte, M. E., Kim, S. Y., Hwang, Y., & Kim, S. W. (2023). Comparative effects of soy protein concentrate, enzyme-treated soybean meal, and fermented soybean meal replacing animal protein supplements in feeds on growth performance and intestinal health of nursery pigs. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14 (1), 89. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00888-3>
8. Deng, Z., Jang, K. B., Jalukar, S., Du, X., & Kim, S. W. (2023). Efficacy of feed additive containing bentonite and enzymatically hydrolyzed yeast on intestinal health and growth of newly weaned pigs under chronic dietary challenges of fumonisin and aflatoxin. *Toxins*, 15 (7), 433. <https://doi.org/10.3390/toxins15070433>
9. Council of Europe. (1986, March 18). *European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and other scientific purposes* (ETS No.123). <https://rm.coe.int/168007a67b>
10. Forouzandeh, A., Blavi, L., Pérez, J. F., D'Angelo, M., González-Solé, F., Monteiro, A., Stein, H. H., & Solà-Oriol, D. (2022). How copper can impact pig growth: comparing the effect of copper sulfate and monovalent copper oxide on oxidative status, inflammation, gene abundance, and microbial modulation as potential mechanisms of action. *Journal of Animal Science*, 100 (9). <https://doi.org/10.1093/jas/skac224>
11. Ministry of Education and Science, Youth and Sports of Ukraine. (2012, March 1). *Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia naukovymy ustanovamy doslidiv, eksperymentiv na tvarynah* [On approval of the Procedure for conducting research and experiments on animals by scientific institutions]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/z0416-12> [in Ukrainian]
12. Verkhovna Rada of Ukraine. (2006, February 21). *Pro zakhyst tvaryn vid zhorstokoho povodzhennia* [On the protection of animals from cruelty] (Law No. 3447-IV). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3447-15> [in Ukrainian]
13. Liao, S. F., Ji, F., Fan, P., & Denryter, K. (2024). Swine gastrointestinal microbiota and the effects of dietary amino acids on its composition and metabolism. *International Journal of Molecular Sciences*, 25 (2), 1237. <https://doi.org/10.3390/ijms25021237>
14. Menchikov, L. G., & Popov, A. V. (2023). Physiological activity of trace element germanium including anticancer properties. *Biomedicines*, 11 (6), 1535. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11061535>
15. Meng, Q., Zhang, Y., Li, J., Shi, B., Ma, Q., & Shan, A. (2022). Lycopene affects intestinal barrier function and the gut microbiota in weaned piglets via antioxidant signaling regulation. *The Journal of Nutrition*, 152 (11), 2396–2408. <https://doi.org/10.1093/jn/nxac208>
16. Ortega, A. D. S. V., Babinszky, L., Oriedo, O. H., Csernus, B., Ozsváth, X. E., Czeglédi, L., Oláh, J., & Szabó, C. (2023). Impact of heat stress length and dietary antioxidant supplementation on the nutrient digestibility, metabolism and immune response of fattening pigs. *Annals of Agricultural Sciences*, 68 (1), 87–96. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2023.06.002>

17. Palomares, R. A. (2022). Trace minerals supplementation with great impact on beef cattle immunity and health. *Animals*, 12 (20), 2839. <https://doi.org/10.3390/ani12202839>
18. Stefanache, A., Lungu, I.-I., Butnariu, I.-A., Calin, G., Gutu, C., Marcu, C., Grierosu, C., Bogdan Goroftei, E. R., Duceac, L.-D., Dabija, M. G., Popa, F., & Damir, D. (2023). Understanding how minerals contribute to optimal immune function. *Journal of Immunology Research*, 2023, 1–26. <https://doi.org/10.1155/2023/3355733>
19. Szabó, C., Kachungwa Lugata, J., & Ortega, A. D. S. V. (2023). Gut health and influencing factors in pigs. *Animals*, 13 (8), 1350. <https://doi.org/10.3390/ani13081350>
20. Wang, S.-Q., Peng, Z., Sun, H., Han, Y.-M., Zhang, B., Pineda, L., Boerboom, G., Sun, L.-h., Liu, Y., & Deng, Z.-C. (2024). Evaluating the impact of an organic trace mineral mix on the redox homeostasis, immunity, and performance of sows and their offspring. *Biological Trace Element Research*, 203 (4), 1798–1807. <https://doi.org/10.1007/s12011-024-04300-7>
21. Wen, Y., Li, R., Piao, X., Lin, G., & He, P. (2022). Different copper sources and levels affect growth performance, copper content, carcass characteristics, intestinal microorganism and metabolism of finishing pigs. *Animal Nutrition*, 8, 321–330. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.10.007>
22. Weyh, C., Krüger, K., Peeling, P., & Castell, L. (2022). The role of minerals in the optimal functioning of the immune system. *Nutrients*, 14 (3), 644. <https://doi.org/10.3390/nu14030644>
23. Xiong, Y., Cui, B., He, Z., Liu, S., Wu, Q., Yi, H., Zhao, F., Jiang, Z., Hu, S., & Wang, L. (2023). Dietary replacement of inorganic trace minerals with lower levels of organic trace minerals leads to enhanced antioxidant capacity, nutrient digestibility, and reduced fecal mineral excretion in growing-finishing pigs. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1142054. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1142054>

ORCID

- | | | |
|---------------|---|---|
| P. Khymynets |  | https://orcid.org/0009-0000-6249-1026 |
| V. Karpovskyi |  | https://orcid.org/0009-0003-9848-1411 |
| O. Zhurenko |  | https://orcid.org/0000-0002-4933-0372 |
| R. Nahorets |  | https://orcid.org/0009-0003-8523-6687 |
| R. Grelya |  | https://orcid.org/0009-0008-2320-6921 |
| I. Hryshchuk |  | https://orcid.org/0000-0003-2571-6876 |
| P. Karpovskyi |  | https://orcid.org/0009-0002-8113-423X |
| O. Kovalchuk |  | https://orcid.org/0009-0007-2365-3142 |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

The antifungal effect of milk thistle (*Silybum marianum*) extract: An *in vitro* study using the agar dilution method

M. A. K. Hameed✉

Article info

Correspondence Author

M. A. K. Hameed

E-mail:

mustafa.abdul@uokerbala.edu.iqCollege of Veterinary
Medicine, University of
Kerbala,
Karbala, 56001, Iraq**Citation:** Hameed, M. A. K. (2025). The antifungal effect of milk thistle (*Silybum marianum*) extract: An *in vitro* study using the agar dilution method. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 117–121. doi: 10.31210/spi2026.29.01.19

Silybum marianum, commonly known as milk thistle, is a widely recognized plant for its medicinal properties, especially its hepatoprotective and antioxidant activities, which have been mainly attributed to silymarin. Recently, an increasing number of studies have reported the antimicrobial, including antifungal, activity of milk thistle. This study was designed to examine the antifungal activity of milk thistle extract against two common fungal pathogens, *Candida albicans* and *Aspergillus niger*. The crude extract of milk thistle was prepared in three different concentrations (25 %, 50 %, and 100 %), which were directly incorporated into Sabouraud Dextrose Agar (SDA) using the agar dilution method. The results clearly indicated a concentration-dependent inhibition of fungal growth. At a 25 % concentration, moderate inhibition of fungal growth was observed for *Candida albicans* (35.2±3.1 %), while *Aspergillus niger* showed minimal inhibition (12.5±2.4 %). At a 50 % concentration, the inhibition increased significantly for both fungal species, with *Candida albicans* showing 62.8±4.5 % inhibition and *Aspergillus niger* showing 38.7±3.6 % inhibition. At a 100 % concentration, the maximum growth inhibition was achieved, reaching 85.4±5.2 % for *Candida albicans* and 64.3 ± 4.8% for *Aspergillus niger*. Additionally, disk diffusion susceptibility testing confirmed that both the 50 % and 100% extract solutions displayed clear zones of inhibition, categorizing both isolates as sensitive. These results strongly indicate that *Silybum marianum* possesses substantial inherent antifungal properties. The ability of milk thistle to act as a natural antifungal agent supports its potential application in fields beyond hepatoprotection. Further studies are needed to identify the active antifungal compounds from the crude extract, determine their spectrum of activity against a broader range of fungal pathogens, and assess their possible therapeutic or preservative applications in medicine and agriculture.

Keywords: *Silybum marianum*, milk thistle, antifungal activity, agar dilution method, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*.

Протигрибковий ефект екстракту розторопші плямистої (*Silybum marianum*): дослідження *in vitro* з використанням методу серійних розведень в агарі

M. A. K. Хамед

Коледж ветеринарної
медицини, Університет
Кербели,
провінція Кербела, Ірак

Silybum marianum, відома як розторопша плямиста, є широко визнаною рослиною завдяки своїм лікувальним властивостям, зокрема гепатопротекторній та антиоксидантній активності, які переважно пов'язують із силімаріном. Останнім часом у дедалі більшій кількості досліджень повідомляється про антимікробну, зокрема протигрибкову, дію розторопші. Враховуючи вищевикладене, це дослідження здійснене з метою встановлення протигрибкової активності екстракту розторопші проти двох поширених грибкових мікроорганізмів – *Candida albicans* та *Aspergillus niger*. Екстракт розторопші готували у трьох різних концентраціях (25 %, 50 % та 100 %), які безпосередньо вносили в середовище агару Сабуро (SDA) методом серійних розведень в агарі. Результати чітко вказали на концентраційно-залежне пригнічення росту грибів обох видів. Зокрема, за концентрації 25 % спостерігалось помірне пригнічення росту грибів для *C. albicans* (35,2±3,1 %), тоді як *A. niger* виявив мінімальне пригнічення (12,5±2,4 %). За концентрації 50 % рівень пригнічення значно зріс для обох видів грибів. У тесті з *C. albicans* зафіксовано, що затримка росту становила 62,8±4,5 %, а у *A. niger* – 38,7±3,6 %. За 100 % концентрації було досягнуто максимального пригнічення росту, яке становило 85,4±5,2 % для *C. albicans* та 64,3±4,8 % для *A. niger*. Крім того, тестування чутливості методом дифузії на дисках підтвердило, що розчини екстракту як 50 %, так і 100 % концентрації утворювали чіткі зони затримки росту, що дозволило класифікувати обидва ізоляти як чутливі. Отримані результати переконливо свідчать про те, що *S. marianum* має виражені протигрибкові властивості. Здатність розторопші діяти як природний протигрибковий засіб обґрунтовує її потенційне застосування в сферах, що виходять за межі гепатопротекції. Необхідні подальші дослідження для ідентифікації точних протигрибкових сполук із екстракту, визначення спектра їхньої активності проти ширшого кола грибкових патогенів, а також оцінки можливостей їхнього терапевтичного чи застосування у гуманній і ветеринарній медицині та сільському господарстві.

Ключові слова: *Silybum marianum*, розторопша плямиста, протигрибкова активність, метод розведення в агарі, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*.



Бібліографічний опис для цитування: Хамед М. А. К. Протигрибковий ефект екстракту розторопші плямистої (*Silybum marianum*): дослідження *in vitro* з використанням методу серійних розведень в агарі. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 117–121.

Introduction

Fungal infections represent an important and growing public health challenge worldwide, especially among immunocompromised individuals, such as patients with HIV/AIDS, cancer patients undergoing chemotherapy, and organ transplant recipients [1]. *Candida* and *Aspergillus* species are responsible for a wide range of infections. These range from superficial conditions, such as oral thrush and superficial candidiasis, to life-threatening systemic infections, such as invasive aspergillosis and candidemia [2]. The global burden of fungal infections is exacerbated by the increasing spread of antifungal resistance, which has become a major concern in clinical settings. For example, the emergence of azole-resistant *Candida* species and multi-drug-resistant *Aspergillus* strains has severely limited the efficacy of traditional antifungal therapies [3].

Traditional antifungal medications, such as azoles (e.g., fluconazole), polyenes (e.g., amphotericin B), and echinocandins (e.g., caspofungin), remain the cornerstone of treatment for fungal infections. However, these therapies are often associated with significant limitations, including toxicity, high costs, and the rapid development of resistance. For instance, amphotericin B, although highly effective against a wide range of fungi, is notorious for its nephrotoxic side effects. Similarly, the extensive use of fluconazole has led to the emergence of resistant *Candida* strains, particularly *Candida glabrata* and *Candida krusei*. These challenges underscore an urgent need for alternative antifungal agents that are effective, safe, and less prone to inducing resistance [4].

In recent years, there has been a resurgence of interest in natural products as potential sources of antimicrobial agents. Plants, in particular, are a rich source of bioactive compounds with diverse medicinal properties, including antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory effects. Among these, milk thistle (*Silybum marianum*), native to the Mediterranean region, has been extensively studied for its hepatoprotective and antioxidant properties, which are primarily attributed to its main active complex, silymarin [5]. Silymarin is a complex mixture of flavonolignans, including silybin, silychristin, and silydianin, which have been shown to demonstrate a wide range of biological activities [6].

Emerging evidence indicates that milk thistle may also possess significant antimicrobial properties, including antifungal activity. Initial studies have shown that silymarin and its components can inhibit the growth of various fungal pathogens, including *Candida albicans* and *Aspergillus niger*, by disrupting fungal cell membranes and inhibiting biofilm formation. These findings are particularly promising given the role of biofilms in fungal virulence and resistance to traditional agents [7]. In addition, the antioxidant properties of milk thistle may help mitigate the oxidative stress associated with fungal infections, thereby potentially enhancing the host's immune response and promoting tissue repair [8].

Despite these promising findings, the antifungal capacity of milk thistle remains insufficiently characterized, particularly regarding its mechanism of

action and efficacy at different concentrations. Most studies to date have focused on the agar well diffusion method, which may not fully capture the volatile or lipophilic antifungal activity of plant extracts [9]. In contrast, the agar dilution (mixing) method, which involves incorporating extracts directly into the growth medium, provides a more comprehensive evaluation of antifungal effects by ensuring direct and continuous interaction between fungal cells and bioactive compounds [10]. By incorporating the extracts directly into the medium, we aimed to simulate conditions that align closely with potential real-world applications, such as topical formulations or antifungal coatings. The findings from this study may provide valuable insights into the potential of milk thistle as a natural antifungal agent and contribute to the development of alternative therapies for fungal infections.

The aim of the study

The purpose of this study was to evaluate the in vitro antifungal activity of milk thistle extracts at 25 %, 50 %, and 100 % concentrations using the agar dilution method in Sabouraud Dextrose Agar (SDA).

Materials and methods

Preparation of Milk Thistle Extract

Milk thistle seeds were obtained and ground into a fine powder. The extract was prepared using a solvent extraction method with ethanol (70 %) as a solvent. The mixture was filtered, and the solvent was evaporated under low pressure to get a concentrated extract. The extract was then diluted to create 25 %, 50 % and 100 % (weight/volume) concentrations.

Preparation of Sabouraud Dextrose Agar (SDA) with Milk Thistle Extract

Sabouraud dextrose agar (SDA) was prepared according to the standard protocol. The milk thistle extract was included in the concentration of 25 %, 50 % and 100 % (weight/volume) before autoclaving. The mixture was well mixed to ensure equal distribution of extracts. The control plates were produced without the addition of milk thistle extract.

Fungal Strains and Culture Conditions

The antifungal activity of milk thistle extract was tested against *Candida albicans* and *Aspergillus niger*, two common fungal pathogens. In order to ensure viability and purity, the strains on SDA plates without milk thistle extract were cultivated. For the experiment, the fungal suspensions were prepared in sterile saline solution and adjusted to a turbidity of 0.5 McFarland standard ($\sim 1.5 \times 10^6$ CFU/ml) [8].

Inoculation and Incubation

Each concentration of milk thistle extract (25 %, 50 %, and 100 %) was tested in triplicate. Fungal suspensions (10 μ L) were spot-inoculated onto the surface of the SDA plates containing milk thistle extract. Control plates were inoculated in the same manner. The

plates were incubated at 25°C for 48–72 hours, and fungal growth was assessed visually and microscopically.

Assessment of Antifungal Activity

Fungal growth inhibition was evaluated by measuring the diameter of the colonies and comparing them to the control plates. The percentage of inhibition was calculated using the formula:

$$\text{Inhibition (\%)} = (1 - \text{Colony diameter on treated agar} / \text{Colony diameter on control agar}) \times 100$$

Antifungal sensitivity test (Application of Discs)

Antifungal discs were placed on the surface of the inoculated Mueller Hinton agar plate. Each disc was gently pressed into the agar using sterile, flamed, and cooled forceps to ensure full contact with the agar surface. The plates were then inverted and incubated at 37°C for 48 hours. The results obtained from the disc diffusion method were interpreted and categorized as susceptible, intermediate, or resistant according to the criteria established by the Clinical and Laboratory Standards Institute [11].

Statistical Analysis

The data were analyzed using one-way ANOVA, and the results were expressed as mean $\pm$ standard deviation (SD). A p-value of <0.05 was considered statistically significant.

Results and discussion

The results demonstrated a concentration-dependent antifungal effect of milk thistle extract. At 25 % concentration, moderate inhibition of fungal growth was observed for *Candida albicans* (inhibition = 35.2 ± 3.1 %), while *Aspergillus niger* showed minimal inhibition (inhibition = 12.5 ± 2.4 %). At 50 % concentration, the inhibition increased significantly for both fungal species, with *Candida albicans* showing 62.8 ± 4.5 % inhibition and *Aspergillus niger* showing 38.7 ± 3.6 % inhibition. At 100 % concentration, the maximum inhibition was observed, with *Candida albicans* showing 85.4 ± 5.2 % inhibition and *Aspergillus niger* showing 64.3 ± 4.8 % inhibition. The control plates showed no inhibition, confirming that the antifungal effect was due to the milk thistle extract (**Figure 1a, b, c**).

Results of Antifungal Susceptibility Testing by Disk Diffusion Method

The isolates of *Candida albicans* and *Aspergillus niger* were tested using the disk diffusion technique to determine the susceptibility to 4 different antifungal drugs and milk thistle extract (50 % and 100 %). The results are presented in **Table 1**.

The disk diffusion testing revealed varying susceptibility profiles of the tested fungal isolates to traditional drugs and milk thistle extract. *Candida albicans* demonstrated sensitivity to fluconazole, amphotericin B, and clotrimazole, but was found to be resistant to voriconazole.

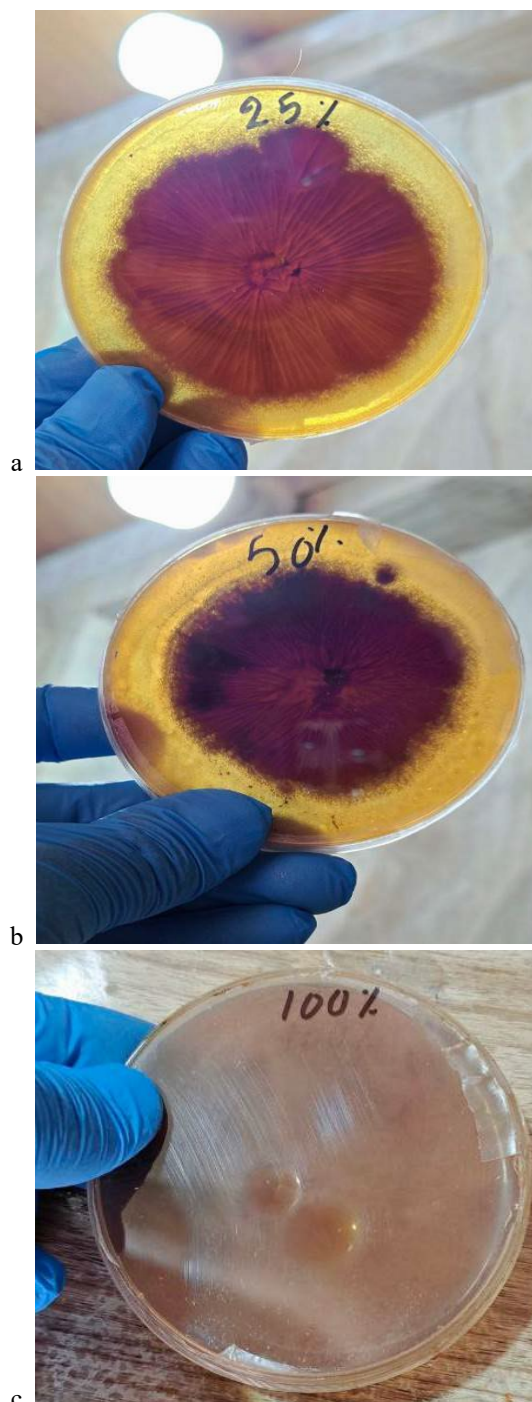


Figure 1. (a, b, c). Antifungal activity of *Silybum marianum* extract at 25 %, 50 %, and 100 % concentrations in Sabouraud Dextrose Agar (SDA)

Table 1

The results of the disk diffusion method

Antifungal disc	<i>Candida albicans</i>	<i>Aspergillus niger</i>
Fluconazole (25 μ g)	S	R
Voriconazole (1 μ g)	R	S
Amphotericin B (10 μ g)	S	R
Clotrimazole (10 μ g)	S	R
Milk thistle extract 50%	S	S
Milk thistle extract 100%	S	S

Note: S – Susceptible (Sensitive); R – Resistant.

In contrast, *Aspergillus niger* showed resistance to fluconazole, amphotericin B, and clotrimazole, while remaining sensitive to voriconazole. Notably, both milk thistle extract concentrations (50 % and 100 %) demonstrated effective antifungal activity, with both *Candida albicans* and *Aspergillus niger* isolates categorized as sensitive to the plant extract. These findings indicate that milk thistle extract exhibits a broad-spectrum antifungal effect, capable of inhibiting strains that show resistance to conventional antifungal agents.

The findings of this study indicate that milk thistle extract exhibits significant antifungal activity when incorporated directly into Sabouraud Dextrose Agar, with higher concentrations showing greater inhibition of fungal growth. The observed concentration-dependent inhibition suggests that the active compounds in milk thistle, such as silymarin, may disrupt fungal cell membranes or interfere with fungal metabolic processes. Previous studies have reported that silymarin can inhibit ergosterol synthesis, a key component of fungal cell membranes, which aligns with our findings [12–14].

The differences observed between *Candida albicans* and *Aspergillus niger* may be due to the variation in the structure of the fungal cell wall and the sensitivity of these species to the active compounds in milk thistle. While *Candida albicans* showed higher sensitivity, the inhibition of *Aspergillus niger* at high concentrations suggests that milk thistle can have a wide-spectrum antifungal capacity [15, 16].

The agar dilution method used in this study allowed for direct interaction between fungal cells and milk thistle extract, giving a more accurate evaluation of its antifungal activity than the agar well diffusion method. This approach mimics potential real-world applications, such as incorporating milk thistle into topical formulations or antifungal coatings. These results are in line with previous studies that highlight the antimicrobial properties of milk thistle [17, 18].

The *Candida albicans* isolate was tested for its susceptibility to a panel of standard antifungal agents and *Silybum marianum* extracts; the isolate was found to be susceptible to the polyene agent amphotericin B and the topical azole clotrimazole, as evidenced by the zones of inhibition. However, resistance to fluconazole, a first-line triazole, was also observed, which indicates the expression of acquired resistance. Acquired resistance among *C. albicans* has increasingly been reported, which often results from the upregulation of efflux pumps, for example, CDR1, MDR1, or mutations in the ERG11 gene encoding the azole target enzyme [19]. However, the response of the pathogen to voriconazole, another triazole, implies that the resistance mechanism expressed might be specific to fluconazole, since even against fluconazole-resistant strains, voriconazole has shown efficacy due to its higher affinity for the target enzyme [20]. Most notably, both the 50 % and 100 % milk thistle extract solutions displayed clear evidence of antifungal activity, revealing zones of inhibition. As such, these study results echo more recent investigations which have shown the anticandidal efficacy of silymarin, milk thistle flavonolignans, and their related compounds. For example, a study performed by researchers [21] described

how *Silybum marianum* seed extract possessed a marked ability to inhibit the growth of clinical *C. albicans* isolates. The mechanisms of effectiveness relied on disrupting the *C. albicans* membranes, alongside inhibiting virulence factors such as biofilm formation and hyphal morphogenesis. Clearly, this tested antifungal activity implies that compounds present in milk thistle have a potential means to bypass common mechanisms of azole resistance, thus necessitating further investigations of the synergistic value of this compound alongside traditional drug treatments.

A specific antifungal susceptibility pattern was recognizable in the case of the *Aspergillus niger* isolate. Intrinsic resistance of the organism to fluconazole was verified because it failed to produce a zone of inhibition. This species of *Aspergillus* possesses universal resistance due to its inherent insensitivity to the aforementioned antifungal drug. This is because of the inherent insensitivity of the cytochrome P450 14 α -demethylase enzyme of *Aspergillus* species to fluconazole [22]. In contrast to the usual susceptibility pattern of the majority of *Aspergillus* species, the results revealed the resistance of the *Aspergillus* species involved in the study to both amphotericin B and voriconazole [23]. The resistance of the pathogen to amphotericin B is significant, and this could be an actual display of resistance, perhaps related to altered ergosterol membrane content or increased catalase production counteracting the oxidative effects of the drug. It is interesting that the pathogen was demonstrated to be susceptible to the topical azole compound clotrimazole, although this agent would be of no use in treating systemic aspergillosis. Most important, however, is the fact that both concentrations of the milk thistle compound were demonstrated to be effective in inhibiting the pathogen *A. niger*. This is a very significant display of effectiveness, supported by scientific literature. For instance, it was shown that silibinin [24], a component of the active complex of silymarin, demonstrated a significant ability to inhibit *Aspergillus* by producing apoptotic-like cell death and disrupting the structure of the pathogen's cell wall.

Conclusions

This experiment proved that milk thistle extract has a considerable antifungal effect on *Candida albicans* and *Aspergillus niger* when added directly to Sabouraud Dextrose Agar at concentrations of 25 %, 50 %, and 100 %. The results indicate that milk thistle may serve as a valuable source of natural antifungal agents, especially where standard treatment has been constrained by resistance or toxicity. Furthermore, *S. marianum* extract demonstrates significant potential as a natural antifungal compound against both yeasts and molds of clinicopathological relevance, including drug-resistant isolates. These findings strongly support the notion that constituents of milk thistle offer great potential for the management of drug-resistant pathogens, either as monotherapeutic agents and/or in a synergistic capacity to re-establish sensitivity to conventional antifungal agents.

Future research should focus on the isolation of the exact bioactive compounds responsible for these

antifungal effects, as well as the evaluation of their prospects regarding clinical usage.

DECLARATIONS

Ethical Statement

Not applicable. This study was conducted entirely in vitro using fungal isolates and did not involve any live animal subjects or human tissues.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Abenavoli, L., Izzo, A. A., Milić, N., Cicala, C., Santini, A., & Capasso, R. (2018). Milk thistle (*Silybum marianum*): A concise overview on its chemistry, pharmacological, and nutraceutical uses in liver diseases. *Phytotherapy Research*, 32 (11), 2202–2213. Portico. <https://doi.org/10.1002/ptr.6171>
2. Otto, W. R., Arendrup, M. C., & Fisher, B. T. (2023). A practical guide to antifungal susceptibility testing. *Journal of the Pediatric Infectious Diseases Society*, 12 (4), 214–221. <https://doi.org/10.1093/jpids/piad014>
3. Cortés, J. C. G., Curto, M.-A., Carvalho, V. S. D., Pérez, P., & Ribas, J. C. (2019). The fungal cell wall as a target for the development of new antifungal therapies. *Biotechnology Advances*, 37 (6), 107352. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.02.008>
4. Agostinho, D. P., Miller, L. C., Li, L. X., & Doering, T. L. (2018). Peeling the onion: the outer layers of *Cryptococcus neoformans*. *Memórias Do Instituto Oswaldo Cruz*, 113 (7), e180040. <https://doi.org/10.1590/0074-02760180040>
5. Balouiri, M., Sadiki, M., & Ibsouda, S. K. (2016). Methods for *in vitro* evaluating antimicrobial activity: A review. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, 6 (2), 71–79. <https://doi.org/10.1016/j.jpha.2015.11.005>
6. Fisher, M. C., Hawkins, N. J., Sanglard, D., & Gurr, S. J. (2018). Worldwide emergence of resistance to antifungal drugs challenges human health and food security. *Science*, 360 (6390), 739–742. <https://doi.org/10.1126/science.aap7999>
7. Zhang, Z., Li, X., Sang, S., McClements, D. J., Chen, L., Long, J., Jiao, A., Wang, J., Jin, Z., & Qiu, C. (2022). A review of nanostructured delivery systems for the encapsulation, protection, and delivery of silymarin: An emerging nutraceutical. *Food Research International*, 156, 111314. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111314>
8. Fisher, M. C., Gurr, S. J., Cuomo, C. A., Blehert, D. S., Jin, H., Stukenbrock, E. H., Stajich, J. E., Kahmann, R., Boone, C., Denning, D. W., Gow, N. A. R., Klein, B. S., Kronstad, J. W., Sheppard, D. C., Taylor, J. W., Wright, G. D., Heitman, J., Casadevall, A., & Cowen, L. E. (2020). Threats posed by the fungal kingdom to humans, wildlife, and agriculture. *mBio*, 11 (3). <https://doi.org/10.1128/mbio.00449-20>
9. Surai, P. (2015). Silymarin as a natural antioxidant: An overview of the current evidence and perspectives. *Antioxidants*, 4 (1), 204–247. <https://doi.org/10.3390/antiox4010204>
10. Östlund, U., Kidd, L., Wengström, Y., & Rowa-Dewar, N. (2011). Combining qualitative and quantitative research within mixed method research designs: A methodological review. *International Journal of Nursing Studies*, 48 (3), 369–383. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2010.10.005>
11. Procop, G. W., Alexander, B. D., Dufresne, P. J., Fuller, J., Ghannoum, M. A., Hanson, K. E., Holliday, D., Holliday, N. M., Ostrosky-Zeichner, L., Schuetz, A. N., Wiederhold, P. P., & Zelazny, A. M. (2017). *Method for antifungal disk diffusion susceptibility testing of yeasts* (CLSI Document M44; 3rd ed.). Clinical and Laboratory Standards Institute.
12. Vakili-Ghartavol, M., & Arouiee, H. (2025). Harnessing plant-derived antifungal agents and nanoencapsulation for postharvest pathogen management: A comprehensive review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 24, 102280. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.102280>
13. Gillesen, A., & Schmidt, H. H.-J. (2020). Silymarin as supportive treatment in liver diseases: A narrative review. *Advances in Therapy*, 37 (4), 1279–1301. <https://doi.org/10.1007/s12325-020-01251-y>
14. Perlín, D. S., Rautemaa-Richardson, R., & Alastruey-Izquierdo, A. (2017). The global problem of antifungal resistance: prevalence, mechanisms, and management. *The Lancet Infectious Diseases*, 17 (12), e383–e392. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(17\)30316-x](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(17)30316-x)
15. Yun, D. G., & Lee, D. G. (2017). Silymarin exerts antifungal effects via membrane-targeted mode of action by increasing permeability and inducing oxidative stress. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*, 1859 (3), 467–474. <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2017.01.009>
16. Liu, X., Li, T., Wang, D., Yang, Y., Sun, W., Liu, J., & Sun, S. (2017). Synergistic antifungal effect of fluconazole combined with licofelone against resistant *Candida albicans*. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2101. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02101>
17. Tariq, S., Wani, S., Rasool, W., Shafi, K., Bhat, M. A., Prabhakar, A., Shalla, A. H., & Rather, M. A. (2019). A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 134, 103580. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103580>
18. Abdelazim, S. (2017). Effect of silymarin as natural antioxidants and antimicrobial activity. *Nutrition & Food Science International Journal*, 2 (3). <https://doi.org/10.19080/nfsij.2017.02.555589>
19. Pfaller, M. A. (2012). Antifungal drug resistance: mechanisms, epidemiology, and consequences for treatment. *The American Journal of Medicine*, 125 (1), S3–S13. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2011.11.001>
20. Espinel-Ingroff, A. (2008). Mecanismos de resistencia a los antifúngicos: levaduras y hongos filamentosos. *Revista Iberoamericana de Micología*, 25 (2), 101–106. [https://doi.org/10.1016/s1130-1406\(08\)70027-5](https://doi.org/10.1016/s1130-1406(08)70027-5)
21. Jafarzadeh, S., Abdolmaleki, K., Javanmardi, F., Hadidi, M., & Mousavi Khaneghah, A. (2022). Recent advances in plant-based compounds for mitigation of mycotoxin contamination in food products: current status, challenges and perspectives. *International Journal of Food Science & Technology*, 57 (4), 2159–2170. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15555>
22. Snelders, E., Karawajczyk, A., Verhoeven, R. J. A., Venselaar, H., Schaftenaar, G., Verweij, P. E., & Melchers, W. J. G. (2011). The structure–function relationship of the *Aspergillus fumigatus* cyp51A L98H conversion by site-directed mutagenesis: The mechanism of L98H azole resistance. *Fungal Genetics and Biology*, 48 (11), 1062–1070. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2011.08.002>
23. Lepak, A., & Andes, D. (2011). Fungal sepsis: optimizing antifungal therapy in the critical care setting. *Critical Care Clinics*, 27 (1), 123–147. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2010.11.001>
24. Vahedi-Shahandashti, R., & Lass-Flörl, C. (2020). Novel Antifungal agents and their activity against *Aspergillus* species. *Journal of Fungi*, 6 (4), 213. <https://doi.org/10.3390/jof6040213>

ORCID

M. A. K. Hameed 

<https://orcid.org/0000-0001-8076-3371>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Peculiarities of dog infestation with pathogens of otodectosis and sarcoptic mange across different breeds

V. Yevstafieva¹✉ | S. Nychyk² | L. Korchan¹ | N. Kanivets¹

Article info

Correspondence Author

V. Yevstafieva

E-mail:

valentya.yevstafieva@pdau.edu.ua¹ Poltava State Agrarian University,
Skovoroda Str., 1/3, Poltava,
36000, Ukraine² National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
Heroiv Oborony Str., 15, Kyiv,
03041, Ukraine

Citation: Yevstafieva, V., Nychyk, S., Korchan, L., & Kanivets, N. (2025). Peculiarities of dog infestation with pathogens of otodectosis and sarcoptic mange across different breeds. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 122–126. doi: 10.31210/spi2026.29.01.20

Sarcoptic mange and otodectosis are ectoparasitic diseases caused by mites of the genus *Otodectes* and *Sarcoptes*, which are characterized by skin lesions and can infest domestic dogs. Sarcoptic mange and otodectosis are accompanied by itching at the place of mites' localization, the appearance of alopecia, erythema, papules, pustules and crusts on the skin. The pathogens can parasitize in humans, and the most common manifestation is temporary dermatitis. Therefore, monitoring studies on otodectosis and sarcoptic mange are important for both animal and human health. The aim of the study was to determine the peculiarities of infesting dogs of different breeds with the pathogens of otodectosis and sarcoptic mange. The research was conducted in the laboratory of the Department of Parasitology and Veterinary and Sanitary Expert Examination of Poltava State Agrarian University and in private clinics of veterinary medicine (city of Poltava). By the conducted studies it has been found that the average prevalence of otodectosis invasion in dogs makes 17.6 %. The highest values of the prevalence of infection and percentage of diseased dogs from the total number of infested animals were found in English cocker spaniels (EI – 32.0 %, 30.9 % – of the diseased dogs) and dachshunds (29.4 and 19.2 %). Mixed breeds and non-pedigree dogs (12.1 and 30.8 %), German shepherd dogs (9.5 and 7.7 %), French bulldogs (7.1 and 3.8 %), Labradors (4.8 and 3.8 %) and golden retrievers (8.3 and 3.8 %) were less infested with otodectes. The average prevalence of sarcoptic infection in dogs makes 9.6 %. The highest values of animal infestation were found in German shepherd dogs (EI – 19.1 %, 21.0 % – of the diseased dogs), Dobermans (16.7 and 5.3 %), Rottweilers (12.5 and 5.3 %), golden retrievers (16.7 and 10.5 %), as well as mixed breeds and non-pedigree animals (15.5 and 47.3 %). French bulldogs (EI – 12.5 %, 5.3 % – of the diseased dogs) and dachshunds (5.9 and 5.3 %) were less infested with sarcoptes. The obtained results will allow us to take into account the peculiarities of infecting dogs of different breeds with the pathogens of otodectosis and sarcoptic mange during conducting diagnostic and preventive measures.

Keywords: parasitology, otodectosis, sarcoptic mange, dogs, breed susceptibility, infestation rates.

Особливості інвазування собак різних порід збудниками отодектозу та саркоптозу

В. О. Євстаф'єва¹ | С. А. Ничик² | Л. М. Корчан¹ | Н. С. Канівець¹¹ Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна² Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

Саркоптоз та отодектоз – це ектопаразитарні захворювання спричинені кліщами роду *Otodectes* та *Sarcoptes*, які характеризуються ураженням шкіри і можуть інвазувати домашніх собак. Саркоптоз та отодектоз супроводжуються свербіжем у місці локалізації кліщів, появи алопецій, еритеми, папул, пустул та кірочок на шкірі. Збудники можуть паразитувати у людей, причому найпоширенішим проявом є тимчасовий дерматит. Тому, проведення моніторингових досліджень щодо отодектозу та саркоптозу має важливе значення як для здоров'я тварин, так і для людей. Метою досліджень було встановити особливості інвазування собак різних порід збудниками отодектозу та саркоптозу. Дослідження проводили на базі лабораторії кафедри паразитології та ветеринарно-санітарної експертизи Полтавського державного аграрного університету та в умовах приватних клінік ветеринарної медицини (м. Полтава). Проведеними дослідженнями встановлено, що середня екстенсивність отодектозної інвазії у собак становить 17,6 %. Найбільші значення екстенсивності інвазії та відсотка хворих собак від загальної кількості інвазованих тварин виявлено у англійських кокер-спанієлів (EI – 32,0 %, 30,9 % – від хворих собак) та такс (29,4 та 19,2 %). Менш інвазованими отодектесами були метиси та безпородні собаки (12,1 та 30,8 %), німецькі вівчарки (9,5 та 7,7 %), французькі бульдоги (7,1 та 3,8 %), лабрадори (4,8 та 3,8 %) та золотисті ретривери (8,3 та 3,8 %). Середня екстенсивність саркоптозної інвазії у собак становить 9,6 %. Найбільші значення інвазованості тварин виявлено у німецьких вівчарок (EI – 19,1 %, 21,0 % – від хворих собак), доbermanів (16,7 та 5,3 %), ротвейлерів (12,5 та 5,3 %), золотистих ретриверів (16,7 та 10,5 %) та метисів і безпородних тварин (15,5 та 47,3 %). Менш інвазованими саркоптесами були собаки порід французький бульдог (EI – 12,5 %, 5,3 % – від хворих собак) та такса (5,9 та 5,3 %). Отримані результати дозволять враховувати особливості зараження собак різних порід збудниками отодектозу та саркоптозу під час проведення діагностичних та профілактичних заходів.

Ключові слова: паразитологія, отодектоз, саркоптоз, собаки, породна сприйнятливість, показники інвазованості.



Бібліографічний опис для цитування: Євстаф'єва В. О., Ничик С. А., Корчан Л. М., Канівець Н. С. Особливості інвазування собак різних порід збудниками отодектозу та саркоптозу. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 122–126.

Introduction

The *Otodectes cynotis* mite species is widespread throughout the world, and highly contagious among dogs, it is especially spread among young animals, as older ones can develop immunity against this parasite. The cat is the natural reservoir of the mite and functions as a source of infestation for dogs and other animals. This parasite feeds on epithelial residues and tissue fluids on the surface of the external auditory canal and the skin near it, causing severe irritation and, as a result – external otitis [1–5].

Scientific literature indicates a considerable spread of otodectosis among dogs in different countries of the world [6]. For example, in Brazil, a significant spread of *O. cynotis* invasion among dogs was found, where the prevalence of infection makes 33.3 % [7]. Acarological and coproovoscopic studies of dogs were conducted in the clinic of Cairo University. Mono-specific invasion of *O. cynotis* was detected in 7.17 %, and mixed invasions caused by simultaneous parasitizing of otodectes and mites of the genera *Sarcoptes*, *Demodex*, *Dermatophytes* fleas, toxascarises, toxocarises, cestodes of the genus *Dipylidium* and protozoa of the genus *Isospora* were detected in 4.48%. Moreover, the highest level of invasion was found in young dogs, and the lowest one in adult dogs [8].

In a study of scholars in Greece, 25 (4.3 %) of 581 examined dogs were positive to *O. cynotis*, of which 18 (4.65 %) were ≤3 months of age and 7 (3.61 %) were between 3 and 6 months of age. The mean *O. cynotis* infestation intensity made 22.12 mites/dog. A significantly higher overall spread of *O. cynotis* infection (8.40 %) was found in puppies from kennels/shelters than in puppies owned by clients (0.94 %) [9].

The mites of the species *Sarcoptes scabiei* var *canis* are the causative agents of sarcoptic mange, which can infect humans and animals. The parasite penetrates deep into the epidermis, causing intensive itching, inflammation, and in some cases the upsetting of the skin barrier, and in weakened young animals – lethality. Sarcoptic mange has been identified in at least 12 orders, 39 families, and 148 species of domestic and wild mammals, making it one of the most important ectoparasites in the recent decades [10–14].

The scientific literature indicates a significant spread of sarcoptic mange among dogs in various countries of the world [6]. A study was conducted to determine the status of ectoparasites infecting dogs in Shimoga region of India. A total of 120 dogs with skin pathology were examined for the presence of ectoparasites. Among 59 infected domestic dogs, 7 (11.8 %) were positive to sarcoptic mange and 3 (5.0 %) to demodicosis. The species of mites infecting dogs were identified as *S. scabiei* and *Demodex canis* based on morphological characteristics. The spread of ectoparasites was higher in free roaming and adult dogs compared to domestic dogs and puppies, respectively [15].

On the territory of Iran, dogs were infested with *S. scabiei* var. *canis* and *O. cynotis*, with prevalence rates of 42 (29.4 %) and 37 (25.9 %), respectively. Mixed invasions with two or more ectoparasites were

detected in eight dogs (5.6 %). Moreover, *S. scabiei* var. *canis* mites (33.3 %) predominated in winter [16].

The aim of the study

Therefore, the purpose of the study was to establish the peculiarities of infesting dogs of different breeds with the pathogens of otodectosis and sarcoptic mange.

Materials and methods

The research was conducted during 2023–2025 in the laboratory of the Department of Parasitology and Veterinary and Sanitary Expert Examination of Poltava State Agrarian University and in the private veterinary clinic “Vet Help” (city of Poltava).

The study of the spread of otodectosis and sarcoptic mange was carried out based on the results of acarological studies of dogs of different breed groups (utility, hunting, decorative) groups, as well as mixed breed and non-pedigree animals. Acarological studies of skin scrapings were conducted by a well-known method (the method of using a bishofite-glycerin mixture) [17]. According to this method, the scrapings were placed in a laboratory cup or on a glass slide and a drop of a diluted mixture of bishofite and glycerin (ratio 1 : 1) was added. Using a dissecting needle, the crusts or scrapings were crushed and left for 1–2 min. After that, the obtained material was examined under a microscope.

The acariasis infestation rates (EI, %) and the percentage of the total number of infected animals were determined. A total of 198 dogs were examined.

Results and discussion

By the conducted studies it has been determined that the average prevalence of otodectosis invasion in dogs makes 17.6 %. Moreover, concerning the breeds, it was found that the highest values of the prevalence of the infection and the indicators of the number of the diseased dogs from the total number of infected animals were found in English cocker spaniels (EI – 32.0 %, 30.9 % – of the diseased dogs) and dachshunds (29.4 and 19.2 %, respectively) (**Table 1**, **Fig. 1**).

Table 1
Infestation rates of dogs of different breeds with *Otodectes cynotis*

Breed of dogs	Studied animals, <i>n</i>	Infested animals, <i>n</i>	EI, %
German shepherd	21	2	9.5
English cocker spaniel	25	8	32.0
French bulldog	14	1	7.1
Dachshund	17	5	29.4
Labrador	21	1	4.8
Doberman	6	0	0.0
Rottweiler	8	0	0.0
Dalmatian	16	0	0.0
Golden retriever	12	1	8.3
Mixed breed and non-pedigree	58	8	12.1
Total	198	26	17.6

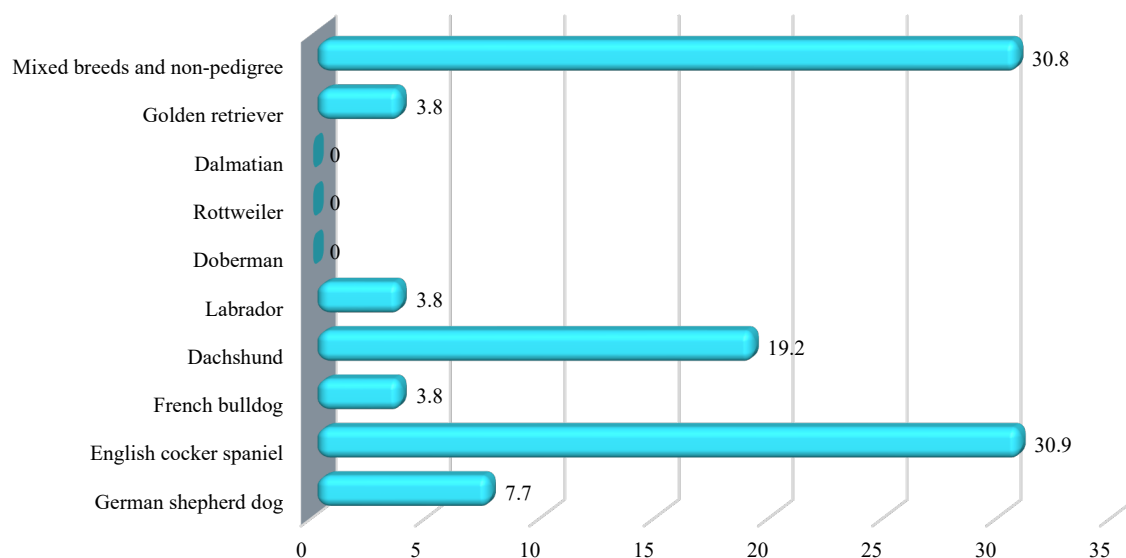


Fig. 1. Indicators of infesting dogs of different breeds with the pathogen of otodectosis, % (N = 26)

Mixed breeds and non-pedigree dogs were less infected with otodectes (EI – 12.1 %, 30.8 % – of the diseased dogs). Otodectosis was diagnosed less frequently in the dogs of German shepherd breed (9.5 and 7.7 %, respectively), French bulldog (7.1 and 3.8 %, respectively), Labrador (4.8 and 3.8 %, respectively) and golden retriever (8.3 and 3.8 %, respectively). Otodectosis invasion was not detected in the dogs of Rottweiler, Doberman and Dalmatian breeds.

At the same time, the average prevalence of sarcoptic invasion in dogs makes 9.6%. Concerning the breeds, it was found that the highest values of animal infestation were found in German shepherds (EI – 19.1 %, 21.0 % – of the diseased dogs), Dobermans (16.7 and 5.3 %, respectively), Rottweilers (12.5 and 5.3 %, respectively), golden retrievers (16.7 and 10.5 %, respectively) as well as in mixed breed and non-pedigree animals (15.5 and 47.3 %, respectively) (**Table 2**, **Fig. 2**).

Table 2

Infestation rates of dogs of different breeds with *Sarcoptes scabiei* var. *canis*

Breed of dogs	Studied animals, n	Infested animals, n	EI, %
German shepherd	21	4	19.1
English cocker spaniel	25	0	0.0
French bulldog	14	1	7.1
Dachshund	17	1	5.9
Labrador	21	0	0.0
Doberman	6	1	16.7
Rottweiler	8	1	12.5
Dalmatian	16	0	0.0
Golden retriever	12	2	16.7
Mixed breed and non-pedigree	58	9	15.5
Total	198	19	9.6

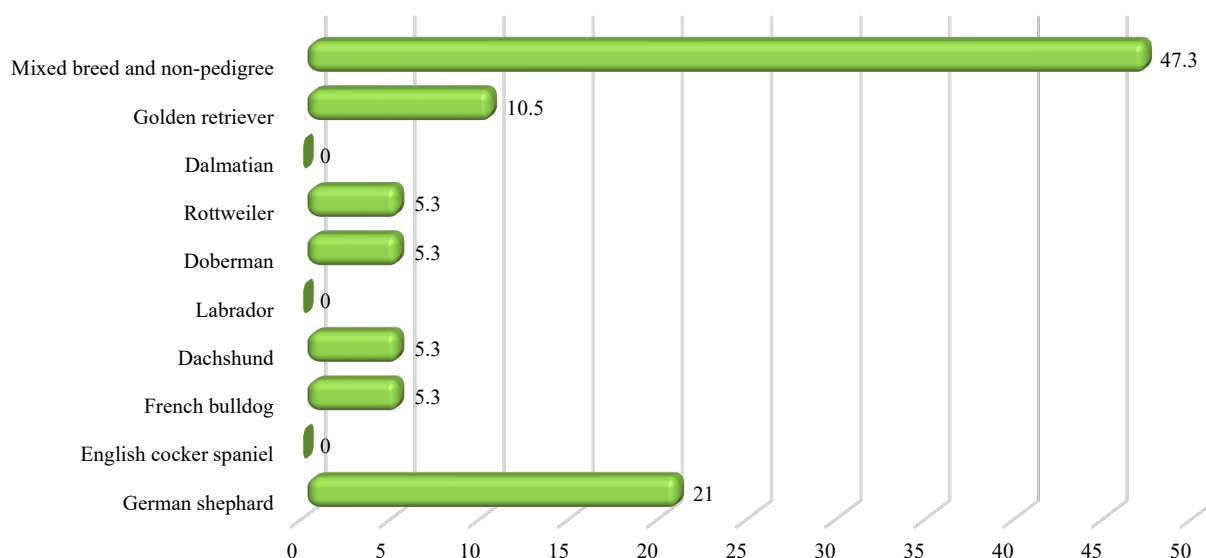


Fig. 2. Indicators of infecting dogs of different breeds with the causative agent of sarcoptic mange, % (N = 19)

The dogs of the following breeds were less infected with sarcoptic mange: French bulldog (EI – 12.5 %, 5.3 % – of the diseased dogs) and dachshund (5.9 and 5.3 %, respectively). Sarcoptic invasion was not detected in Dalmatian, Labrador and English cocker spaniel breed dogs.

Acariases such as sarcoptic mange and otodectosis are among the most spread skin diseases in dogs caused by acariform mites. These are zoonotic diseases of dogs caused by mites of the genus *Sarcoptes* and *Otodectes* [1, 3, 5, and 18]. Scientists note that in order to achieve a better understanding of the epizootic process of acariases caused by acariform mites, it is necessary to know the factors that can contribute to the transmission of parasitic pathogens, their reproduction and preservation in the biotope [19, 20]. Therefore, we conducted the study of the peculiarities of infesting dogs of different breeds with the pathogens of otodectosis and sarcoptic mange.

By the conducted research it has been found that the average prevalence of otodectose invasion in dogs makes 17.6 %. The highest values of the prevalence of infection were found in English cocker spaniels (32.0 %) and dachshunds (29.4 %). The least infested dogs with otodectes were mixed breeds and non-pedigree dogs (12.1 %), German shepherds (9.5 %), French bulldogs (7.1 %), Labradors (4.8 %) and golden retrievers (8.3 %). The average prevalence of sarcoptic invasion in dogs makes 9.6 %. The highest values of the prevalence of infection were found in German shepherds (19.1 %), Dobermans (16.7 %), Rottweilers (12.5 %), golden retrievers (16.7 %) as well as mixed breeds and non-pedigree animals (15.5 %). The dogs less infested with sarcoptes were of the French bulldog (12.5 %) and dachshund breeds (5.9 %) [8].

Ukrainian scholars also note a certain breed susceptibility of dogs to acariasis pathogens. In particular, according to the results of their studies, mixed breed dogs are most of all infected with otodectes (30.3 %), less often – decorative breed dogs (16.8 %), namely: French bulldogs (26.23 %), poodles (22.95 %), shih tzu (22.22 %), chow chow (20 %), as well as non-pedigree animals (12.1 %). Dogs of hunting (13.1 %) and utility (10 %) breeds were most often infected with sarcoptic mange, namely: Jack Russell terrier, Basset hound, cocker spaniel (31.25–33.33 %) and Siberian husky, and Alaskan malamute (50 %) [21].

The obtained results will allow us to take into account the peculiarities of infecting dogs of different breeds with the pathogens of otodectosis and sarcoptic mange when conducting diagnostic and preventive measures.

Conclusions

By the conducted studies, it has been found that the average prevalence of otodectose and sarcoptic invasions in domestic dogs is 17.6% and 9.6 %, respectively. The most infested breeds with otodectosis were English cocker spaniels (EI – 32.0 %) and dachshunds (29.4 %). The most infested breeds with sarcoptic mange were German shepherds (EI – 19.1 %), Dobermans (16.7 %), Rottweilers (12.5 %), golden retrievers (16.7 %), as well as mixed-breed and non-pedigree dogs (15.5 %).

DECLARATIONS

Ethical Statement

The authors declare that all manipulations and diagnostic procedures on animals were conducted in strict accordance with the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (Strasbourg, 1986), national ethical standards, and international guidelines for animal welfare.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The authors declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Kraft, W., Kraiss-Gothe, A., & Gothe, R. (1988). Die Otodectes-cynotis-Infestation von Hund und Katze: Erregerbiologie, Epidemiologie, Pathogenese und Diagnose sowie Fallbeschreibungen generalisierter Räuden bei Hunden [Otodectes cynotis infestation of dogs and cats: Biology of the agent, epidemiology, pathogenesis and diagnosis and case description of generalized mange in dogs]. *Tierärztliche Praxis*, 16 (4), 409–415.
2. Curtis, C. F. (2004). Current trends in the treatment of *Sarcoptes*, *Cheyletiella* and *Otodectes* mite infestations in dogs and cats. *Veterinary Dermatology*, 15 (2), 108–114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3164.2004.00362.x>
3. Souza, C. P., Ramadina, R. R., Scott, F. B., & Pereira, M. J. S. (2008). Factors associated with the prevalence of *Otodectes cynotis* in an ambulatory population of dogs. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 28 (8), 375–378. <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2008000800005>
4. Fanelli, A., Doménech, G., Alonso, F., Martínez-Carrasco, F., Tizzani, P., & Martínez-Carrasco, C. (2020). *Otodectes cynotis* in urban and peri-urban semi-arid areas: a widespread parasite in the cat population. *Journal of Parasitic Diseases*, 44 (2), 481–485. <https://doi.org/10.1007/s12639-020-01215-7>
5. Wall, R., & Shearer, D. (2001). *Veterinary ectoparasites: Biology, pathology, and control* (2nd ed.). Blackwell Science.
6. *Otodectes cynotis* (Hering, 1838) in GBIF Secretariat (2023). GBIF Backbone Taxonomy. <https://doi.org/10.15468/39omei>
7. Silva, J. T., Ferreira, L. C., Fernandes, M. M., Sousa, L. N., Feitosa, T. F., Braga, F. R., Brasil, A. W. d. L., & Vilela, V. L. R. (2020). Prevalence and clinical aspects of *Otodectes cynotis* infestation in dogs and cats in the Semi-arid region of Paraíba, Brazil. *Acta Scientiae Veterinariae*, 48, 1725. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.99156>
8. Salib, F. A., & Baraka, T. A. (2011). Epidemiology, genetic divergence and acaricides of *Otodectes cynotis* in cats and dogs. *Veterinary World*, 4 (3), 109–112. <https://doi.org/10.5455/vetworld.2011.109-112>
9. Lefkaditis, M., Spanoudis, K., Panorias, A., & Sossidou, A. (2021). Prevalence, intensity of infestation, and risk factors for *Otodectes cynotis* in young dogs. *International Journal of Acarology*, 47 (4), 281–283. <https://doi.org/10.1080/01647954.2021.1900911>
10. Nwufoh, O. C., Sadiq, N. A., & Emikpe, B. O. (2018). Establishment of infestivity model for *Sarcoptes scabiei* var *canis* in Nigerian dogs. *Journal of Parasitic Diseases*, 42 (4), 519–526. <https://doi.org/10.1007/s12639-018-1028-5>

11. Birchard, S. J., & Sherding, R. G. (2005). *Saunders manual of small animal practice* (3rd ed.). Elsevier Health Sciences.
12. Nwufoh, O. C., Sadiq, A. N., & Emikpe, B. O. (2019). The seroprevalence of *Sarcoptes scabiei* var. *canis* and its associated risk factors in dogs in Ibadan, Southwest Nigeria. *Journal of Immunoassay and Immunochemistry*, 40 (5), 473–484. <https://doi.org/10.1080/15321819.2019.1631845>
13. Singh, S. K., Dimri, U., Sharma, B., Saxena, M., & Kumari, P. (2014). Assessment of the cytokine profile in peripheral blood mononuclear cells of naturally *Sarcoptes scabiei* var. *canis* infested dogs. *Veterinary Parasitology*, 206 (3–4), 253–257. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2014.10.024>
14. Harumal, P., Kemp, D. J., Arlian, L. G., Walton, S. F., Currie, B. J., Holt, D. C., Rode, J., & Morgan, M. (2003). Identification of a homologue of a house dust mite allergen in a cDNA library from *Sarcoptes scabiei* var. *Hominis* and evaluation of its vaccine potential in a rabbit / *S. scabiei* var. *canis* model. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 68 (1), 54–60. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.2003.68.54>
15. Krishna Murthy, C. M., Ananda, K. J., & Adeppa, J. (2016). Prevalence of ectoparasites in dogs of Shimoga, Karnataka. *Journal of Parasitic Diseases*, 41 (1), 167–170. <https://doi.org/10.1007/s12639-016-0770-9>
16. Jamshidi, S., Maazi, N., Ranjbar-Bahadori, S., Rezaei, M., Morakabsaz, P., & Hosseinienejad, M. (2012). A survey of ectoparasite infestation in dogs in Tehran, Iran. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 21 (3), 326–329. <https://doi.org/10.1590/s1984-29612012000300030>
17. Yevstafieva, V. O., & Havryk, K. A. (2014). Improvement of methods of lifetime diagnostic of sarcoptoses, demodecoses and otodektoses of dogs. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 62–64. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.11>
18. Medleau, L., & Hnilica, K. A. (2001). *Parasitic skin disorders. In Small animal dermatology: A color atlas and therapeutic guide* (2nd ed., pp. 102–108). Saunders Elsevier.
19. Campbell, K. L. (2007). Other external parasites. In S. J. Ettinger & E. C. Feldman (Eds.), *Textbook of veterinary internal medicine: Diseases of the dog and cat* (6th ed., p. 67). Elsevier.
20. Scott, D. W., Miller, W. H., & Griffin, C. E. (2001). Parasitic skin diseases. In *Muller and Kirk's small animal dermatology* (6th ed., pp. 457–474). W.B. Saunders Company.
21. Yevstafieva, V. O., & Havryk, K. A. (2015). Spryiatlivist sobak riznykh porid do zbudnykiv demodekozu, otodektozu ta sarkoptozu [Susceptibility of dogs of different breeds to pathogens of demodecosis, otodectosis, and sarcoptosis]. *Visnyk Sumskoho Natsionalnoho Ahrarnoho Universytetu. Seriya: Vetrynarna Medycyna*, 7 (37), 135–139. [in Ukrainian]

ORCID

V. Yevstafieva 
 S. Nychyk 
 L. Korchan 
 N. Kanivets 

<https://orcid.org/0000-0003-4809-2584>
<https://orcid.org/0000-0002-4789-4334>
<https://orcid.org/0000-0002-6064-5922>
<https://orcid.org/0000-0001-9520-2999>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Mosquitoes of the genus *Culiseta*: peculiarities of distribution in Ukraine and worldwide

M. Melnyk✉

Article info

Correspondence Author

M. Melnyk

E-mail:

m.m.melnyk@nubip.edu.uaNational University of Life and
Environmental Sciences of
Ukraine,
Heroiv Oborony Str., 15, Kyiv,
03041, Ukraine**Citation:** Melnyk, M. (2025). Mosquitoes of the genus *Culiseta*: peculiarities of distribution in Ukraine and worldwide. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 127–132. doi: 10.31210/spi2026.29.01.21

Mosquitoes are among the most numerous members of the arthropod phylum. They act as vectors in the transmission of many pathogens affecting both animals and humans. The most common genera of mosquitoes are *Anopheles*, *Aedes* and *Culex*, whilst *Culiseta*, *Mansonia* and others are less well known. According to scientists, the genus *Culiseta* comprises 42 identified species of mosquitoes and three extinct ones; in particular, the most common species include *Cs. annulata*, *Cs. longiareolata*, *Cs. melanura*, *Cs. alaskaensis*, *Cs. morsitans*, *Cs. subochrea*, *Cs. glaphyoptera*, *Cs. fumipennis*, *Cs. ochroptera* and others. They can act as vectors for filariasis pathogens; in particular, *Cs. incidens* for *Dirofilaria immitis* and *Cs. longiareolata* for the Usutu virus. As data on the distribution of various mosquito species in Ukraine are insufficiently documented, we decided to carry out mosquito trapping and subsequent identification in the Kyiv, Ivano-Frankivsk and Chernivtsi regions of Ukraine from June 2024 to October 2025. We collected mosquitoes using BG Sentinel traps (Biogents AG, Regensburg, Germany) with the addition of carbon dioxide using a special chemical reagent as an attractant. Based on the results of morphological identification of the captured mosquitoes using identification guides, we detected 1.4 % of *Cs. longiareolata* among all captured mature mosquitoes. In recent years, there have been an increasing number of reports from various European countries regarding the detection of *Cs. longiareolata*, indicating the spread of this species in climatic conditions similar to those in Ukraine in recent years. This, in turn, may be linked to changes in climatic conditions and global warming in general. Furthermore, this species is already the fifth representative of the genus *Culiseta*, in addition to the previously recorded *Cs. annulata*, *Cs. glaphyoptera*, *Cs. alaskaensis* and *Cs. morsitans*, which are registered within Ukraine. This species, like other mosquito species in general, requires further detailed study, as it acts as a vector for pathogens of parasitic, bacterial and viral origin, which may pose a threat to the health of various animal species and humans.

Keywords: mosquitoes, genus *Culiseta*, *Culiseta longiareolata*, distribution, morphological characteristics.

Комарі роду *Culiseta*: особливості поширення в Україні та світі

М. М. Мельник

Національний університет
біоресурсів і
природокористування України,
м. Київ, Україна

Комарі належать до надзвичайно чисельних представників членистоногих. Вони відіграють роль векторів у поширенні багатьох збудників тварин і людини. Найпоширенішими родами комарів вважаються *Anopheles*, *Aedes*, *Culex*, менш відомими є *Culiseta*, *Mansonia* та інші. Рід *Culiseta*, за даними вчених, налічує 42 ідентифіковані види комарів та три вимерлих, зокрема, найбільш поширеними є такі види, як *Cs. annulata*, *Cs. longiareolata*, *Cs. melanura*, *Cs. alaskaensis*, *Cs. morsitans*, *Cs. subochrea*, *Cs. glaphyoptera*, *Cs. fumipennis*, *Cs. ochroptera* та інші. Вони можуть слугувати векторами збудників філяріатозів, зокрема, *Cs. incidens* за *Dirofilaria immitis*, *Cs. longiareolata* за вірусу Усуту. Оскільки дані щодо поширеності комарів різних видів в Україні є недостатньо висвітленими, ми вирішили провести відлов та подальшу ідентифікацію комарів в умовах Київської, Івано-Франківської і Чернівецької областей України з червня 2024 року по жовтень 2025 року. Виллов комарів ми здійснювали за допомогою пасток BG Sentinel (компанія Biogents AG, Регенсбург, Німеччина) з додаванням вуглекислого газу за допомогою спеціального хімічного реагенту у якості аттрактанту. За результатами морфологічної ідентифікації видів виловлених комарів з використанням визначників, нам вдалось виявити 1,4 % *Cs. longiareolata* серед усіх відловлених особин статевозрілих комарів. За останні роки з'являється все більше повідомлень у різних країнах Європи щодо виявлення *Cs. longiareolata*, що свідчить про поширення цього виду у подібних до України кліматичних умовах за останні роки. І у свою чергу може бути пов'язано зі змінами кліматичних умов і глобальним потеплінням загалом. До того ж, зазначений вид є вже п'ятим представником роду *Culiseta*, окрім попередньо виявлених *Cs. annulata*, *Cs. glaphyoptera*, *Cs. alaskaensis*, *Cs. morsitans*, які реєструються на території України. Цей вид, як і загалом інші види комарів, потребує більш детального подальшого дослідження, оскільки є вектором збудників паразитарного, бактеріального і вірусного походження, що можуть становити загрозу для здоров'я різних видів тварин і людини.

Ключові слова: комарі, рід *Culiseta*, *Culiseta longiareolata*, поширення, морфологічні особливості.**Бібліографічний опис для цитування:** Мельник М. М. Комарі роду *Culiseta*: особливості поширення в Україні та світі. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 127–132.

Вступ

Комарі – представники родини Culicidae, класу Insecta і типу Arthropoda, поширені повсюдно у світі [15]. Вони відіграють важливу роль, виступаючи векторами збудників хвороб тварин і людини різного походження [20]. До збудників, поширенню яких вони сприяють, належать паразити, зокрема, гельмінти і найпростіші, а також патогени вірусного походження [21]. Такі векторні можливості комарів пов'язані, у тому числі, і з їхньою еволюційною здатністю виживати у різних кліматичних умовах, зокрема, маючи таку фізіологічну властивість, як діапауза [11].

Комарі є надзвичайно чисельними представниками членистоногих. Так, вчені виділяють 41 рід і понад 3600 видів, що належать до родини Culicidae. Найпоширенішими родами є *Anopheles*, *Aedes*, *Culex*, менш відомі *Culiseta*, *Mansonia* та інші. Перший зазначений рід найбільш часто слугує вектором для личинкових стадій гельмінтів, що належать до родини Filariidae, а також у їхньому організмі формуються спороzoїти *Plasmodium* spp. При цьому інші роди комарів часто є причиною поширення збудників родин Flaviviridae і Togaviridae [11].

Маючи значну поширеність у світі, дані щодо видової різноманітності комарів в Україні є досить обмеженими. Так, за даними Романенко та інших авторів [31] у Києві у період з 2013 по 2017 рік було ідентифіковано 29 різних видів комарів, серед яких 24 види належали до підродини Culicinae, 17 видів віднесено до роду *Aedes*, по три види до родів *Culex* і *Culiseta* та один вид до роду *Mansonia*. П'ять видів автори віднесли до підродини Anophelinae. Не зважаючи на видову різноманітність комарів, виловлених дослідниками у місті Києві, у Харківській області кількість ідентифікованих видів була ще більшою і становила 38 видів, що належали до шести родів [30].

Рід *Culiseta* за даними вчених налічує 42 ідентифікованих види комарів та три вимерлих [3], зокрема, найбільш поширеними є такі види як *Culiseta annulata*, *Cs. longiareolata*, *Cs. melanura*, *Cs. alaskaensis*, *Cs. morsitans*, *Cs. subochrea*, *Cs. glaphyoptera*, *Cs. fumipennis*, *Cs. ochroptera* [14, 28] та інші види, які реєструють набагато рідше.

Вони можуть бути векторами збудників філяріатозів, зокрема, *Cs. incidens* за *Dirofilaria immitis* [7], *Cs. longiareolata* за вірусу Усути [8].

Представники роду *Culiseta* (Felt, 1904) за морфологічними ознаками характеризуються наявністю щетинок в основі підреб'я на нижній поверхні крил. Статевозрілі самки мають верхньощелепні вусики короткі та різної довжини. Дихальні щетинки наявні, черевце самки тупе, заокруглене. У личинок одна пара щетинок присутня біля основи дихального сифона [14].

Більшість видів роду *Culiseta* полюбують розвиватися на болотах, ставках, кам'янистих сховищах. При цьому деякі види, як наприклад, *Cs. fraseri* (на стадії личинки), ареал поширення якого переважно знаходиться в Африці, можна зустріти найбільш часто в дуплах дерев, де затримується дощова вода. Деякі австралійські види роду *Culiseta* можуть жити

у норах. Яйця представники цього роду відкладають зазвичай на поверхні водних резервуарів. За даними Романенко та інших в Україні між 2013 та 2017 роками фіксувалося 3 види роду *Culiseta* [31], а саме *Cs. annulata* (Schränk, 1776), *Cs. alaskaensis* (Ludlow, 1906) і *Cs. glaphyoptera*. Останній вид за час спостережень з 2009 по 2019 на території Харківської області виявлено не було. При цьому реєстрували інший вид, а саме *Cs. morsitans* (Theobald, 1901) [30]. Представники останнього виду можуть бути векторами східного енцефаліту коней [34]. Кожен із представників роду *Culiseta* має певні особливості.

Так, *Cs. annulata* належить до представників роду комарів, що мають великі розміри, їхнє тіло має темно коричневе забарвлення з білуватими мітками на лапках, на основі лап є біле кільце, на крилах наявні луски, що утворюють при скупченні темні плями, черевце з дорсального боку комахи має білуваті базальні смуги. Часто помічали представників цього виду у різних країнах Європи, але найчастіше на півночі Європи. *Cs. annulata* зимує на стадії імаго у приміщеннях, де теж може нападати на людей і тварин, навіть взимку. Статевозрілі особини полюбують відкладати яйця на поверхні води, зокрема, у стоячих водоймах, та в штучно створених місцях накопичення прісної або солоної води. Імаго з'являються з березня і реєструються до кінця вересня. Цей вид активний вночі [14]. Вони є частими переносниками збудників дирофіляріозу собак, зокрема, у Вірменії та Закавказькому регіоні [33].

Cs. melanura веде поодинокий спосіб існування та може переміщуватись у радіусі до 100 км [6, 12, 22, 38]. Цей вид вважається одним з найбільш важливих векторів поширення енцефаліту коней у північно-східній частині Сполучених Штатів Америки [6, 34]. Представники цього виду полюбують живитись кров'ю як ссавців, так і птахів, при цьому віддаючи перевагу рептиліям [38, 40].

Cs. longiareolata має значно загострене черевце у порівнянні з представниками роду *Aedes*, смуги на щитку, а на кінцівках плями довільної форми. Темні луски на жилках крил. Морфологічні ознаки дуже схожі на *Cs. annulata*. Зимують представники цього виду на стадії личинок в урбанізованих місцях, зокрема, бетонних спорудах, бочках або ж кам'яних ямах. Здебільшого їх можна зустріти у забрудненій або ж солоній воді і рідко в чистій. *Cs. longiareolata* живиться кров'ю птахів і іноді людини [14]. Має великий ареал поширення, від південної частини Субарктичного регіону до центральної частини Азії, а також реєструється у Пакистані, Індії, Ефіопії та інших країнах. Цей вид для Європи є доволі новим, вперше зареєстрованим між 2017 і 2021 роками у Нідерландах і Бельгії [10]. Він належить до орнітофільних видів і саме тому може слугувати переносником збудників малярії птахів, туляремії, бруцельозу, пташиного грипу, енцефаліту і гарячки Західного Нілу [16, 35, 36].

Зважаючи на небезпеку передачі збудників різноманітних хвороб комарами, вчені багатьох країн активно вивчають компоненти і прилади, що можуть мати відлякуючий вплив на цих комах. Так, дослідження вчених щодо чутливості *Cs. longiareolata* до репе-

лентів встановили летальність за застосування дельтаметрину на рівні 62,5 %, за фенітрогіону на рівні 35,96 % та за бендіокарбна на рівні 20,16 % [35]. При цьому за іншими даними дорослі особини *Cs. longiareolata* чутливі як до піретроїдів, так і до засобів на основі карбаматів. Найтоксичнішим серед випробуваних вченими виявився піретроїдний інсектицид цифлутрин [16], у той час як найбільш екологічним методом боротьби з цими комахами вважається застосування бактерій-симбіонтів [13]. Інформація щодо інших видів роду *Culiseta* є дуже лімітованою.

Комарі, як і інші членистоногі, чутливі до змін клімату, зокрема, і у контексті глобального потепління. Все частіше упродовж останніх років *Cs. longiareolata* виявляють у різних країнах Європи, що означає, імовірно, розширення їхнього ареалу поширення внаслідок потепління. Кліматичні умови України при цьому не є винятком [10]. Окрім того, вчені встановили, що кліматичні умови, у яких розвивається личинкова стадія комах цього виду, впливають на відмінності у будові крил самців і самок на стадії статевої зрілості. Форма крил самців при цьому має більш виражені зміни у порівнянні з самками [5].

Зазвичай вилов статевозрілих особин комарів здійснюють за допомогою спеціальних пасток, а їх ідентифікація можлива як з використанням морфологічних методів і відповідних визначників, так і з застосуванням молекулярних підходів [36]. Останні роки все більш часто використовують для диференціації метод MALDI-TOF MS [1].

Мета дослідження

Мета роботи – вивчити видовий склад та особливості поширення комарів роду *Culiseta* в умовах Київської, Івано-Франківської та Чернівецької областей.

Матеріали і методи

У період з травня 2024 року по жовтень 2025 року відлов статевозрілих особин комарів здійснювали за допомогою спеціальних пасток BG Sentinel (компанія Biogents AG, Регенсбург, Німеччина) з додаванням вуглекислого газу за допомогою спеціального хімічного реагенту для його виділення (BG-CO₂) на території різних місць Івано-Франківської і Чернівецької областей, вздовж магістралей, поруч з кордоном України з Румунією і Молдовою, у місцях інтенсивного скупчення людей. У межах Київської області відлов здійснювали у районах лиману та річок. Усі зібрані за допомогою пасток особини (2862) одразу ж після відлову заморожували і зберігали за температури - 20 °C до подальшого мікроскопічного дослідження. Подальше дослідження здійснювали за допомогою визначників з використанням біокулярного мікроскопа.

Результати та їх обговорення

За результатами проведеного відлову і подальшої ідентифікації статевозрілих особин комарів вдалося

виявити переважну більшість статевозрілих особин, які належали за морфологічними ознаками до групи видів *Cx. pipiens/Cx. torrentium* (2597 особин). Значно меншу частину виявлених особин вдалося віднести до родів *Aedes* (139 особин) і *Anopheles* (87 особин) та виду *Cs. longiareolata* (39 особин). *Cs. longiareolata*, яка становить 1,4 % від усіх виловлених у ході дослідження статевозрілих особин комарів, в Україні за останні десятиліття не реєструвалась (*табл. 1*). Проте, відповідні дослідження та ідентифікація інших видів роду *Culiseta* відбувались лише в умовах міста Києва і Харківської області. При цьому дані щодо поширеності комарів різних видів Київської, Івано-Франківської і Чернівецької областей є мало описаними у науковій літературі. При цьому у подальшому потрібно врахувати, що саме цей вид комарів є вектором збудників багатьох хвороб людини і тварин, зокрема, бруцельозу, пташиного грипу і гарячки Західного Нілу, а також може сприяти поширенню спорозоїтів *Plasmodium* spp. [16].

Результати проведеного аналізу літературних джерел та власних ентомологічних зборів свідчать про широке й нерівномірне поширення представників роду *Culiseta* як в Україні, так і в усьому світі. Серед зареєстрованих видів особливу увагу привертає *Culiseta longiareolata*, який традиційно вважається теплолюбним та медіаторним елементом фауни Середземномор'я, Північної Африки та Близького Сходу. Проте сучасні моніторингові дані демонструють стрімке розширення його ареалу в північному напрямку, про що свідчать численні реєстрації у країнах Центральної та Західної Європи (зокрема в Німеччині, Бельгії, Нідерландах), де його частка в окремих біотопах коливається від поодиноких знахідок до значних субдомінантних показників (наприклад, 11,6 % в Іспанії чи до 5,5 % у Греції).

Отримані нами результати збору імаго в Київській, Івано-Франківській та Чернівецькій областях підтверджують тенденцію до експансії *Cs. longiareolata* на територію України, де цей вид становить 1,4 % від загальної кількості відловлених статевозрілих комарів. Варто наголосити, що *Cs. longiareolata* є вже п'ятим задокументованим представником зазначеного роду в межах країни. Раніше для фауни України (зокрема для Київського регіону та Харківської області) було описано такі види, як *Cs. annulata*, *Cs. morsitans*, *Cs. alaskaensis* та *Cs. glaphyoptera*, для яких кількісні показники щільності популяцій у вітчизняних джерелах тривалий час залишалися переважно якісними, без чіткого відсоткового вираження.

Порівняльний аналіз структури комплексів кровосисних комарів у різних біогеографічних зонах вказує на суттєву залежність видового складу від кліматичних умов. Так, якщо у країнах Північної Європи (зокрема у Фінляндії) домінуючими видами роду є холодостійкі *Cs. morsitans* (2,8 %) та *Cs. bergrothi* (0,94 %), то в Північній Америці та Мексиці домінують специфічні для неарктичного регіону види *Cs. melanura*, *Cs. impatiens* та *Cs. inornata*. Виявлена нами частка *Cs. longiareolata* (1,4 %) в умовах України корелює з аналогічними показниками у південноєвропейських регіонах та вказує на

формування стійких локальних популяцій, що може бути прямим наслідком глобальних кліматичних змін

і вимагає подальшого епізоотологічного контролю з огляду на векторний потенціал цього виду.

Таблиця 1

Поширеність комарів різних видів роду *Culiseta* в Україні і світі

Вид комарів роду <i>Culiseta</i>	Географічне поширення	Частка серед зібраних імаго у дослідженні, %	Літературні джерела
<i>Cs. longiareolata</i> (Macquart, 1838)	Україна (Київська, Івано-Франківська і Чернівецька області)	1,4	Власні результати
	Іспанія (кінні центри, північно-західна частина Іспанії)	11,6	[41]
	Бельгія, Нідерланди	поширені	[10]
	Алжир	поширені	[1, 25]
	Франція	поширені	[23]
	Греція	1,4–5,5	[4]
	Албанія, Азорські острови, Ботсвана, Болгарія, Канарські острови, Хорватія, Кіпр, Джибуті, Єгипет, південна Англія, Ефіопія, Франція (на півночі аж до Парижа), Греція, Угорщина, Індія, Іран, Ірак, Ізраїль, Італія, Йорданія, Ліван, Лесото, Мадейра, Мавританія, Марокко, Намібія, Німеччина, Пакистан, Португалія, Румунія, Росія, Словаччина, Сомалі, Південна Африка, Іспанія, Судан, Швейцарія, Сирія, Таджикистан, Туніс, Туреччина, Україна та нижня частина Поволжя аж до північних схилів Кавказу, а також Ємен	поширені	[2, 18, 39]
	Кіпр	поширені	[32]
	Україна (Київ, Харківська область)		[30, 31]
	Іспанія	поширені	[42]
<i>Cs. annulata</i> (Schrank, 1776)	Європа, Північна Америка	поширені	[2]
	Нідерланди	0,4–7,4	[19]
	Німеччина, Польща, Кіпр, Алжир, Марокко, Туніс	поширені	[2, 17, 24, 27, 32]
<i>Cs. melanura</i> (Coquillett, 1902)	Фінляндія	0,54 (285/52466)	[9]
	Сполучені Штати Америки	поширені	[12, 22, 43]
<i>Cs. morsitans</i> (Theobald, 1901)	Мексика	реєструються з 1990 року	[29]
	Україна (Харківська область)		[30]
	Країни Європи, включаючи Німеччину, Польщу	поширені	[2, 17]
<i>Cs. impatiens</i> (Walker, 1848)	Фінляндія	2,8 (1447/52466)	[9]
	Мексика	поширені	[29]
<i>Cs. incidens</i> (Thomson, 1869)	Сполучені Штати Америки	незначний або ж середній рівень поширеності	[7]
<i>Cs. inornata</i> (Williston, 1893)	Сполучені Штати Америки	середній рівень поширеності	[7]
<i>Cs. subochrea</i> (Edwards, 1921)	Німеччина, Польща, Кіпр	поширені	[2, 17, 32]
	Фінляндія	остання реєстрація цього виду у 1934 і 1935 роках	[9]
<i>Cs. ochroptera</i> (Peus, 1935)	Німеччина, Польща	поширені	[2, 17]
	Фінляндія	0,14 (76/52466)	[9]
<i>Cs. fumipennis</i> (Stephens, 1825)	Німеччина, Польща	поширені	[2, 17]
<i>Cs. alaskaensis</i> (Ludlow, 1906)	Україна (місто Київ, Харківська область)		[30, 31]
	Німеччина, Польща	поширені	[2, 17]
	Фінляндія	0,43 (225/52466)	[9]
<i>Cs. glaphyoptera</i> (Schiner, 1864)	Україна (місто Київ)		[31]
	Німеччина, Польща	поширені	[2, 17]
<i>Cs. bergrothi</i> (Edwards, 1921)	Фінляндія	0,94 (494/52466)	[9]

За результатами наших власних ентомологічних зборів, проведених у Київській, Івано-Франківській та Чернівецькій областях, частка виду *Culiseta longiareolata* склала 1,4 % від загальної кількості відловлених статевозрілих комарів цього роду. Отримані цифри є важливим внеском у вивчення вітчизняної диптерофауни, оскільки зафіксований вид є вже п'ятим задокументованим представником роду *Culiseta* на території України.

Раніше для фауни країни (зокрема для Київського регіону та Харківської області) описували виключно такі види, як *Cs. annulata*, *Cs. morsitans*, *Cs. alaskaensis* та *Cs. glaphyoptera*. Проте кількісні показники щільності їхніх популяцій у вітчизняних джерелах тривалий час залишалися переважно якісними, без чіткого відсоткового вираження. Наші

моніторингові дані є першим кроком до встановлення точної структури цього роду в регіоні.

Виявлена нами тенденція появи та закріплення *Cs. longiareolata* повністю узгоджується із загальноєвропейським трендом. Так, за результатами довготривалого моніторингу, проведеного в Німеччині з 2011 по 2019 рік, місцевий ентомологічний перелік також було оновлено й доповнено видом *Cs. longiareolata* [37]. Подальша реєстрація цього виду в Бельгії та Нідерландах підтверджує його активну експансію в помірну зону Європи. Зважаючи на схожі тенденції кліматичних змін, аналогічне розширення ареалу та стабілізація популяції тепер фіксується і в природних умовах України.

Порівняльний аналіз структури комплексів кровосисних комарів (**табл. 1**) чітко вказує на

суттєву залежність видового складу від географічної широти та екологічних факторів. Якщо в традиційних південних біотопах (Іспанія) щільність *Cs. longiareolata* сягає значних 11,6 %, а у країнах Північної Європи (зокрема у Фінляндії) вид взагалі не реєструється, поступаючись холодостійким *Cs. morsitans* (2,8 %) та *Cs. bergrothi* (0,94 %), то виявлена нами частка в 1,4 % в умовах України найближче корелює з аналогічними показниками у Греції (1,4–5,5 %). Це вказує на початкові етапи формування стійких локальних вогнищ, що є прямим наслідком глобального потепління та вимагає подальшого епізоотологічного контролю з огляду на високий векторний потенціал цього виду комарів щодо небезпечних патогенів.

Висновки

На основі здійснених досліджень у Київській, Івано-Франківській та Чернівецькій областях за допомогою пасток BG Sentinel та морфологічних ознак вперше вдалося встановити кількісні показники поширення комарів *Cs. longiareolata* в умовах України, де їхня частка склала 1,4 % серед усіх відловлених статевозрілих особин роду. Зазначений вид є вже п'ятим представником роду *Culiseta*, який офіційно реєструється на території України (поряд із *Cs. annulata*, *Cs. glaphyoptera*, *Cs. alaskaensis* та *Cs. morsitans*). Виявлений вид потребує детального подальшого моніторингу та екологічного дослідження, оскільки має вагоме епізоотологічне значення та може становити загрозу для здоров'я тварин і людини.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автор підтверджує, що в цьому дослідженні не проводилися експерименти чи будь-які інші маніпуляції з хребетними тваринами або людьми. Робота базується виключно на зборі вільноживучих комах (комарів родини Culicidae) у природних умовах за допомогою безконтактних пасток, що не потребує погодження комітетом з біоетики.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автор заявляє, що не використовував штучний інтелект або технології на основі III під час підготовки цього рукопису.

References

1. Abdellahoum, Z., Nebbak, A., Lafri, I., Kaced, A., Bouhenna, M. M., Bachari, K., Boumegoura, A., Agred, R., Boudchicha, R. H., Smadi, M. A., Maurin, M., & Bitam, I. (2022). Identification of Algerian field-caught mosquito vectors by MALDI-TOF MS. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 31, 100735. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2022.100735>
2. Becker, N., & Hoffmann, D. (2011). First record of *Culiseta longiareolata* (Macquart) for Germany. *European Mosquito Bulletin*, 29, 143–150.
3. Belkin, J. N. (1962). *The mosquitoes of the South Pacific: (Diptera, Culicidae)*. University of California Press.
4. Bisia, M., Papadopoulos, P., Filis, S., Beleri, S., Tegos, N., Lamprou, G. K., Balatsos, G., Papachristos, D., Michaelakis, A., & Patsoula, E. (2023). Field evaluation of commonly used adult mosquito traps in Greece. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 23 (3), 119–128. <https://doi.org/10.1089/vbz.2022.0066>
5. Boumaza, M., Merabti, B., Adjami, Y., Ouakid, M. L., & Carvajal, T. M. (2022). Geometric morphometric wing analysis of avian malaria vector, *Culiseta longiareolata*, from two locations in Algeria. *Insects*, 13 (11), 1031. <https://doi.org/10.3390/insects13111031>
6. Burtis, J. C., Poggi, J. D., Duval, T. B., Bidlack, E., Shepard, J. J., Matton, P., Rossetti, R., & Harrington, L. C. (2021). Evaluation of a methoprene aerial application for the control of *Culiseta melanura* (Diptera: Culicidae) in wetland larval habitats. *Journal of Medical Entomology*, 58 (6), 2330–2337. <https://doi.org/10.1093/jme/tjab108>
7. Couper, L. I., & Mordecai, E. A. (2022). Ecological drivers of dog heartworm transmission in California. *Parasites & Vectors*, 15(1), 388. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05526-x>
8. Chen, J., Zhang, Y., Zhang, X., Zhang, M., Yin, X., Zhang, L., Peng, C., Fu, B., Fang, L., & Liu, W. (2024). Epidemiology and ecology of Usutu Virus infection and its global risk distribution. *Viruses*, 16 (10), 1606. <https://doi.org/10.3390/v16101606>
9. Culverwell, C. L., Uusitalo, R. J., Korhonen, E. M., Vapalahti, O. P., Huhtamo, E., & Harbach, R. E. (2020). The mosquitoes of Finland: updated distributions and bionomics. *Medical and Veterinary Entomology*, 35 (1), 1–29. <https://doi.org/10.1111/mve.12475>
10. Deblauwe, I., Ibáñez-Justicia, A., De Wolf, K., Smits, N., Schneider, A., Stroo, A., Jacobs, F., Vanslembrouck, A., Gombeer, S., Dekoninck, W., Müller, R., & Van Bortel, W. (2021). First detections of *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae) in Belgium and the Netherlands. *Journal of Medical Entomology*, 58 (6), 2524–2532. <https://doi.org/10.1093/jme/tjab127>
11. Diniz, D. F. A., de Albuquerque, C. M. R., Oliva, L. O., de Melo-Santos, M. A. V., & Ayres, C. F. J. (2017). Diapause and quiescence: dormancy mechanisms that contribute to the geographical expansion of mosquitoes and their evolutionary success. *Parasites & Vectors*, 10 (1), 310. <https://doi.org/10.1186/s13071-017-2235-0>
12. Fagre, A. C., Soto, R. A., Magleby, R., Cuaderna, M. K. Q., Sun, A., Cervantes, K., Crans, S. C., Panella, N. A., Kenney, J. L., Angelus, A., Burkhalter, K. L., Woell, D., Horiuchi, K., Biggerstaff, B. J., Staples, J. E., Connelly, R., Martin, S. W., & Komar, N. (2024). Enhancing Eastern Equine Encephalitis Virus surveillance in New Jersey: Optimized collection of *Culiseta melanura*. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 40 (2), 92–101. <https://doi.org/10.2987/23-7148>
13. Ghahvechi Khaligh, F., Vahedi, M., & Chavshin, A. R. (2020). Identification of symbiotic bacteria in the midgut of the medically important mosquito, *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae). *BMC Research Notes*, 13 (1), 378. <https://doi.org/10.1186/s13104-020-05220-0>
14. Günay, F., Picard, M., & Robert, V. (2022). *MosKeyTool: An interactive identification key for mosquitoes of the Euro-Mediterranean region* (Version 2.4) [Computer software]. IRD / MediLabSecure. <http://medilabsecure.com/moskeytool>
15. Hawkes, F. M., & Hopkins, R. J. (2021). The mosquito: An introduction. In *Mosquitopia* (pp. 16–31). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003056034-3>
16. Hazratian, T., Paksa, A., Sedaghat, M. M., Vatandoost, H., Moosa-Kazemi, S. H., Sanei-Dehkordi, A., Salim-Abadi, Y., Pirmohammadi, M., Yousefi, S., Amin, M., & Oshaghi, M. A. (2019). Baseline susceptibility of *Culiseta longiareolata* (Diptera: Culicidae) to different imidacloprids, in Eastern Azerbaijan, Iran. *Journal of Arthropod-Borne Diseases*, 13 (4), 407–415.

17. Jawieñ, P., Pfitzner, W. P., Schaffner, F., & Kiewra, D. (2024). Mosquitoes (Diptera: Culicidae) of Poland: An update of species diversity and current challenges. *Insects*, 15 (5), 353. <https://doi.org/10.3390/insects15050353>
18. Khaledian, M., Owliae, I., Szamand, A., Davari, B., Zahirmia, A. H., & Jalilian, F. A. (2024). West Nile virus in adults and larvae of *Culiseta longiareolata* and *Culex hortensis* (Diptera: Culicidae) captured in Hamedan, western Iran. *Acta Tropica*, 260, 107434. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2024.107434>
19. Koenraadt, C. J. M., Munger, E., Schrama, M. J. J., Spitzen, J., Altundag, S., Sikkema, R. S., Munnink, B. B. O., Koopmans, M. P. G., & Blom, R. (2024). Overwintering of Usutu virus in mosquitoes, the Netherlands. *Parasites & Vectors*, 17 (1), 537. <https://doi.org/10.1186/s13071-024-06620-y>
20. Lounibos, L. P. (2002). Invasions by Insect vectors of human disease. *Annual Review of Entomology*, 47 (1), 233–266. <https://doi.org/10.1146/annurev.ento.47.091201.145206>
21. Lozovei, A. L. (2011). Culicidae (mosquitos). In C. B. Marcondes (Ed.), *Entomologia mdica e veterinria* (pp. 107–174). Athenaeu.
22. Mackay, A. J., Cara, C., Kim, C.-H., & Stone, C. M. (2022). Update on the distribution of *Culiseta melanura* in regions of Illinois with prior eastern equine encephalitis virus activity. *Journal of Vector Ecology*, 47 (2), 230–234. <https://doi.org/10.52707/1081-1710-47.2.230>
23. Martinet, J.-P., Bohers, C., Vazeille, M., Fert, H., Mousson, L., Mathieu, B., Depaquit, J., & Failloux, A.-B. (2023). Assessing vector competence of mosquitoes from northeastern France to West Nile virus and Usutu virus. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 17 (6), e0011144. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0011144>
24. Merabti, B., Boumaza, M., Ouakid, M. L., Carvajal, T. M., & Harbach, R. E. (2021). An updated checklist of the mosquitoes (Diptera: Culicidae) present in Algeria, with assessments of doubtful records and problematic species. *Zootaxa*, 5027 (4), 515–545. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5027.4.3>
25. Mokhati, R., Bouabida, H., & Dris, D. (2025). GC/MS analysis and insecticidal activity of *Pelargonium graveolens* essential oil from Algeria against *Culex pipiens* and *Culiseta longiareolata* mosquito larvae. *The Science of Nature*, 112 (6), 89. <https://doi.org/10.1007/s00114-025-02044-5>
26. Natarajan, R., Gopalakrishnan, S., Talib, H. D., Kumar, N. P., Shriram, A. N., Kumar, A., & Jambulingam, P. (2024). Confirmation of the recognition of *Culiseta* (*Culiseta*) *indica* Edwards, 1920 as a distinct species based on integrated morphological and molecular data. *Zootaxa*, 5415 (4), 577–584. <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5415.4.7>
27. Nebbak, A., Almeras, L., Parola, P., & Bitam, I. (2022). Mosquito vectors (Diptera: Culicidae) and mosquito-borne diseases in North Africa. *Insects*, 13 (10), 962. <https://doi.org/10.3390/insects13100962>
28. Nicolescu, G., Vladimirescu, A., & Ciolpan, O. (2003). The distribution of mosquitoes in Romania (Diptera: Culicidae). Part II: *Culiseta*, *Coquillettidia*, *Ochlerotatus*, *Orthopodomyia* and *Uranotaenia*. *Journal of the European Mosquito Control Association*, 14, 1–15.
29. Ortega-Morales, A. I., Leon-Espinosa, G. A., & Rodrguez-Rojas, J. J. (2023). Updated checklist of the mosquitoes (Diptera: Culicidae) of Mexico. *Journal of Vector Ecology*, 49 (1), 28–43. <https://doi.org/10.52707/1081-1710-49.1.28>
30. Paliy, A. P., Sumakova, N. V., Pavlichenko, O. V., Paliy, A. P., Reshetylo, O. I., Kovalenko, L. M., Grebenik, N. P., & Bula, L. V. (2022). Monitoring of animal dirofilariosis incidence in Kharkiv region of Ukraine. *Zoodyversity*, 56 (2), 153–164. <https://doi.org/10.15407/zoo2022.02.153>
31. Romanenko, T., Hunchenko, N., Kharkhun, T., Kardupel, L., Honcharenko, L., & Higgs, S. (2021). Surveillance of mosquitoes (Diptera, Culicidae) in Kyiv, Ukraine between 2013 and 2017. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 21 (3), 200–207. <https://doi.org/10.1089/vbz.2020.2666>
32. Seyer-Cagatan, A., Ruh, E., & Taylan-Ozkan, A. (2024). Vector-borne diseases in Cyprus: A detailed review of the literature. *Tropical Biomedicine*, 41 (3), 328–344. <https://doi.org/10.47665/tb.41.3.014>
33. Shcherbakov, O. V., Aghayan, S. A., Gevorgyan, H. S., Burlak, V. A., Fedorova, V. S., & Artemov, G. N. (2023). An updated list of mosquito species in Armenia and Transcaucasian region responsible for *Dirofilaria* transmission: A review. *Journal of Vector Borne Diseases*, 60 (4), 343–352. <https://doi.org/10.4103/0972-9062.374035>
34. Sherwood, J. A., Stehman, S. V., Howard, J. J., & Oliver, J. (2020). Cases of Eastern equine encephalitis in humans associated with *Aedes canadensis*, *Coquillettidia perturbans* and *Culiseta melanura* mosquitoes with the virus in New York State from 1971 to 2012 by analysis of aggregated published data. *Epidemiology and Infection*, 148, e72. <https://doi.org/10.1017/s0950268820000308>
35. Soltanbeiglu, S., Mohammadi Bavani, M., Vahedi, M., & Chavshin, A. R. (2022). Susceptibility of *Culiseta longiareolata* to insecticides in West Azerbaijan province, northwestern Iran. *Veterinary Research Forum*, 13 (3), 435–437. <https://doi.org/10.30466/vrf.2020.134833.3025>
36. Soltanbeiglu, S., Vahedi, M., Mohammadi-Bavani, M., & Chavshin, A. R. (2020). Molecular characterisation of cytochrome oxidase i and internal transcribed spacer 2 fragments of *Culiseta longiareolata*. *Turkish Journal of Parasitology*, 44 (4), 191–196. <https://doi.org/10.4274/tpd.galenos.2020.6886>
37. Werner, D., Kowalczyk, S., & Kampen, H. (2020). Nine years of mosquito monitoring in Germany, 2011–2019, with an updated inventory of German culicid species. *Parasitology Research*, 119 (9), 2765–2774. <https://doi.org/10.1007/s00436-020-06775-4>
38. West, R. G., Mathias, D. K., Day, J. F., Acevedo, C., Unnasch, T. R., & Burkett-Cadena, N. D. (2020). Seasonal changes of host use by *Culiseta melanura* (Diptera: Culicidae) in Central Florida. *Journal of Medical Entomology*, 57 (5), 1627–1634. <https://doi.org/10.1093/jme/tjaa067>
39. Yared, S., Gebressilasie, A., Worku, A., Mohammed, A., Gunarathna, I., Rajamanickam, D., Waymire, E., Balkew, M., & Carter, T. E. (2024). Breeding habitats, bionomics and phylogenetic analysis of *Aedes aegypti* and first detection of *Culiseta longiareolata*, and *Ae. hirsutus* in Somali Region, eastern Ethiopia. *Plos One*, 19 (1), e0296406. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296406>
40. Soghigian, J., Andreadis, T. G., & Molaei, G. (2018). Population genomics of *Culiseta melanura*, the principal vector of Eastern equine encephalitis virus in the United States. *PLOS Neglected Tropical Diseases*, 12 (8), e0006698. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006698>
41. Martnez-de la Puente, J., Soriguer, R., Senar, J. C., Figuerola, J., Bueno-Mari, R., & Montalvo, T. (2020). Mosquitoes in an urban zoo: Identification of blood meals, flight distances of engorged females, and avian malaria infections. *Frontiers in Veterinary Science*, 7, 460. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00460>
42. Roiz, D., Eritja, R., Escosa, R., Lucientes, J., Marqus, E., Melero-Alcbar, R., Ruiz, S., & Molina, R. (2007). A survey of mosquitoes breeding in used tires in Spain for the detection of imported potential vector species. *Journal of Vector Ecology*, 32 (1), 10–15. [https://doi.org/10.3376/1081-1710\(2007\)32\[10:asombi\]2.0.co;2](https://doi.org/10.3376/1081-1710(2007)32[10:asombi]2.0.co;2)
43. Armstrong, P. M., & Andreadis, T. G. (2010). Eastern Equine Encephalitis Virus in mosquitoes and their role as bridge vectors. *Emerging Infectious Diseases*, 16 (12), 1869–1874. <https://doi.org/10.3201/eid1612.100640>

ORCID

M. Melnyk 

<https://orcid.org/0009-0007-3567-9630>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Environmental drivers, feeding habits, and population dynamics of *Planiliza abu* (Heckel, 1843) in the Third River, Iraq

K. J. L. Al-Zaidy✉

Article info

Correspondence Author

K. J. L. Al-Zaidy

E-mail:

kadhim.jawad@uokerbala.edu.iqCollege of Veterinary
Medicine, University of
Kerbala,
Karbala, 56001, Iraq**Citation:** Al-Zaidy, K. J. L. (2026). Environmental drivers, feeding habits, and population dynamics of *Planiliza abu* (Heckel, 1843) in the Third River, Iraq. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 133–140. doi: 10.31210/spi2026.29.01.22

To investigate the aquatic environment and population characteristics affecting the growth of *Planiliza abu* (Heckel, 1843) in the middle sector of the Third River (Main Outfall Drain, MOD) in central Iraq, a comprehensive study was conducted from January to December 2022. The research assessed key water quality variables alongside the feeding ecology, age structure, and reproductive dynamics of this species. The results revealed that water temperatures exhibited profound seasonal fluctuations, ranging from a minimum of 9.15°C in January to a maximum of 37.54°C in August. Salinity concentrations followed a similar pattern, reaching their highest value in August (8.05) and dropping to the lowest level in April (2.58). The potential hydrogen ion exponent (pH) demonstrated a tendency toward alkaline conditions, with peak values recorded in August (8.6). Conversely, dissolved oxygen (DO) concentration reached its maximum during January, peaking at 9.875 mg/L, while never falling below the critical threshold of 4 mg/L throughout the study period. Nutrients also displayed distinct variations; nitrate (NO₃) concentrations fluctuated between 0.66 mg/L in May and 1.12 mg/L in January, while reactive phosphate (PO₄) concentrations mirrored this trend exactly, reaching their minimum in May (0.66 mg/L) after peaking in January (1.12 mg/L). Biological examination revealed an overall sex ratio skewed in favor of females, with 122 males versus 144 females (1 : 1.21). Feeding activity (%) showed clear annual fluctuations, peaking in summer at 87.93% and falling to 80.90 % in winter. Feeding intensity showed a similar pattern, with the lowest level recorded during the winter months (11.73 degree/fish) and the highest level during the summer months (14.11 degree/fish). Dietary analysis proved that *P. abu* exhibits a detritivorous, benthic-feeding behavior; diatoms occupied the foremost position regarding the Index of Relative Importance (%IRI), constituting 47.23 % of the dietary composition, succeeded by algae at 33.20 % and organic detritus at 11.19 %. In conclusion, the veterinary-sanitary analysis of water quality parameters revealed no exceedances of critical ecotoxicant toxicity thresholds, indicating the overall ecological well-being of the surveyed aquatory and the safety of the habitat for maintaining the optimal physiological status and sustainable reproduction of the *P. abu* population.

Keywords: MOD, Water quality, Sex ratio, Index of Relative Importance, *Planiliza abu*.

Екологічні чинники, особливості живлення та динаміка популяції *Planiliza abu* (Heckel, 1843) у Третій річці, Ірак

К. Д. Л. Аль-Зайді

Коледж ветеринарної
медицини, Університет
Кербели,
провінція Кербела, Ірак

З метою вивчення водного середовища та популяційних характеристик, що впливають на ріст *Planiliza abu* (Heckel, 1843) у середньому секторі Третьої річки (Головний магістральний дренажний канал, MOD) у центральному Іраку, з січня по грудень 2022 року було проведено комплексне дослідження. У роботі оцінено ключові показники якості води поряд із трофічною екологією, віковою структурою та репродуктивною динамікою цього виду. Результати показали, що температура води зазнавала глибоких сезонних коливань – від мінімуму 9,15 °C у січні до максимуму 37,54 °C у серпні. Показники солоності змінювалися за подібною закономірністю, досягаючи найвищого значення в серпні (8,05) і знижуючись до найнижчого рівня у квітні (2,58). Водневий показник (pH) продемонстрував тенденцію до лужних умов із піковими значеннями, зареєстрованими в серпні (8,6). Навпаки, концентрація розчиненого кисню досягла свого максимуму в січні, склавши 9,875 мг/л, і жодного разу не опускалася нижче критичного порогу 4 мг/л протягом усього періоду дослідження. Вміст біогенних речовин також демонстрував чіткі зміни: концентрація нітратів (NO₃) коливалася між 0,66 мг/л у травні та 1,12 мг/л у січні, тоді як концентрація реакційноздатного фосфату (PO₄) точно відображала цей тренд, досягаючи мінімуму в травні (0,66 мг/л) після піку в січні (1,12 мг/л). Біологічний аналіз виявив, що загальне співвідношення статей зміщене у бік самок: 122 самці проти 144 самок (1 : 1,21). Активність живлення (%) демонструвала чіткі річні коливання, досягаючи піку влітку (87,93 %) і знижуючись до 80,90 % узимку. Інтенсивність живлення мала аналогічний характер із найнижчим рівнем, зафіксованим у зимові місяці (11,73 бала/рибу), та найвищим – у літні місяці (14,11 бала/рибу). Аналіз раціону підтвердив, що *P. abu* притаманна детритоїдна поведінка з бентосним типом живлення; діатомові водорості посіли провідне місце за індексом відносної важливості (%IRI), складаючи 47,23 % від складу раціону, за ними йшли інші водорості (33,20 %) та органічний детрит (11,19 %). У підсумку, ветеринарно-санітарний аналіз показників якості води не зафіксував перевищення критичних порогів токсичності екотоксикантів, що свідчить про загальне екологічне благополуччя досліджуваної акваторії та безпечність середовища існування для збереження оптимального фізіологічного статусу і стабільного відтворення популяції *P. abu*.

Ключові слова: головний магістральний дренажний канал, якість води, співвідношення статей, індекс відносної важливості, *Planiliza abu*.**Бібліографічний опис для цитування:** Аль-Зайді К. Д. Л. Екологічні чинники, особливості живлення та динаміка популяції *Planiliza abu* (Heckel, 1843) у Третій річці, Ірак. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 133–140.

Introduction

Life-history studies of fish species – including their distribution, reproduction, and feeding ecology – are among the most important approaches for understanding fish community structure and assessing its development and sustainability [8, 23].

The freshwater mullet *Planiliza abu*, locally known as Khishni, belongs to the family Mugilidae, which is widely distributed in tropical, subtropical, and temperate regions. Species of this family are characterized by a high tolerance to salinity (euryhaline species). *P. abu* is considered an economically important species and is widely distributed in Iraq, Syria, Turkey, Iran, and Pakistan [16, 24]. In Iraqi inland waters, this species is abundant in major rivers such as the Shatt Al-Arab, Tigris, and Euphrates, the southern marshes, as well as smaller rivers, drainage canals, and lakes including Habbaniyah, Tharthar, and Razzaza [19].

The length-weight relationship of *P. abu* in Iraq has been extensively investigated across various habitats. Specifically, studies have been conducted in Naama et al. [35], Al-Daham & Yousif [47], the Al-Dawoodi drainage canals [7], Al-Qadisiyah Dam [4], and Hawr Ad Dalmaj marsh [12]. However, the relationship between length and age, feeding habits, or the effect of seasonal environmental changes on this species in the Third River has not yet been studied.

The aim of the study

Therefore, the present study aims to highlight selected life-history aspects of *Planiliza abu* in the Third River. Particular emphasis is placed on the effects of certain physical and chemical water parameters on its occurrence, distribution, and age structure. In addition, the natural food components of this species were examined to clarify its feeding habits.

Materials and methods

Sampling Stations

Two sampling stations were selected for fish collection and water quality monitoring in the Third River (Main Outfall Drain, MOD) in central Iraq from January to December 2022. The first station was located at coordinates 32°26'58.0"N, 45°06'17.3"E. The second station was situated downstream along the course of the Third River at 32°11'12.5"N, 45°19'33.9"E (Fig. 1).

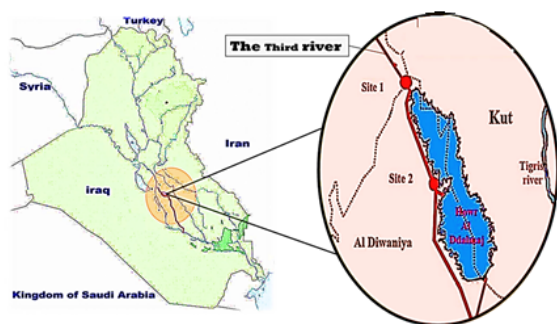


Fig. 1. Map of the sampling area for *Planiliza abu* fish

Water Quality Parameters

Water temperature, pH, and dissolved oxygen (DO) concentration were measured in situ using a YSI Sensorion 156 multiparameter meter. Nutrient concentrations, specifically nitrate (NO₃) and phosphate (PO₄), were determined using the cadmium column method following the procedure described by Parsons et al. [37].

Fish Sampling and Laboratory Processing

Fish specimens were collected using floating gill nets with a 25 × 25 mm mesh size. The captured samples were preserved in cooled containers and transported to the laboratory. Upon arrival, the fish were washed to remove adhering debris and sediments. Total length was recorded to the nearest 1 mm, and body weight was determined to the nearest 0.01 g using a sensitive Citizen balance.

Diet and Feeding Analysis

The fish were dissected to determine sex, after which all internal organs – including the intestines and gonads – were removed. The extracted intestines were preserved in 10 % formalin. The anterior portion of the stomach (cardiac region) was used to examine diet composition under 3.8×, 10×, and 40× magnifications.

Diet analysis was carried out using the points method (P%) and the frequency of occurrence method (O%), as described by Hynes [28]. Stomach fullness was classified into five categories (full, three-quarters full, half full, one-quarter full, and empty) and assigned scores of 20, 15, 10, 5, and 0, respectively [38]. These points were distributed among food items according to their relative volume. The total points for each dietary component were summed to calculate the percentage of total points.

The relative importance of dietary components was assessed using the Index of Relative Importance (%IRI) according to Stergiou [46], calculated as follows:

$$IRI = O\% \times P\%$$

$$\text{This index has been expressed as: } \%IRI = (IRI / \sum IRI) \times 100$$

Feeding intensity and activity were estimated following the method proposed by Sarkar and Deepak [41].

$$\text{Feeding intensity (scores/fish)} = \text{Total score derived from the fullness index} / \text{Number of fish fed}$$

$$\text{Feeding activity (\%)} = (\text{Number of fish fed} / \text{Total number of fish examined}) \times 100$$

The relative importance of dietary components was assessed using the Index of Relative Importance (%IRI) according to Stergiou (1988). Feeding intensity and activity were estimated following the method proposed by Sarkar and Deepak (2009).

Age and Growth Determination

Fish age and growth were determined using scales. For each specimen, 5–10 scales were collected from the body side below the dorsal fin, following the protocol described by Bagenal and Tesch [14].

Results and discussion

Physicochemical Water Parameters

Figure 2 illustrates that water temperature levels during the study period ranged from 9.15 °C in January to 37.54 °C in August. Salinity reached its highest recorded value in August (8.05), while the lowest value was

observed in April (2.58). In the same context, the highest concentration of dissolved oxygen (DO) was recorded in

January (9.875 mg/L), whereas the maximum pH value was observed in August, reaching 8.6.

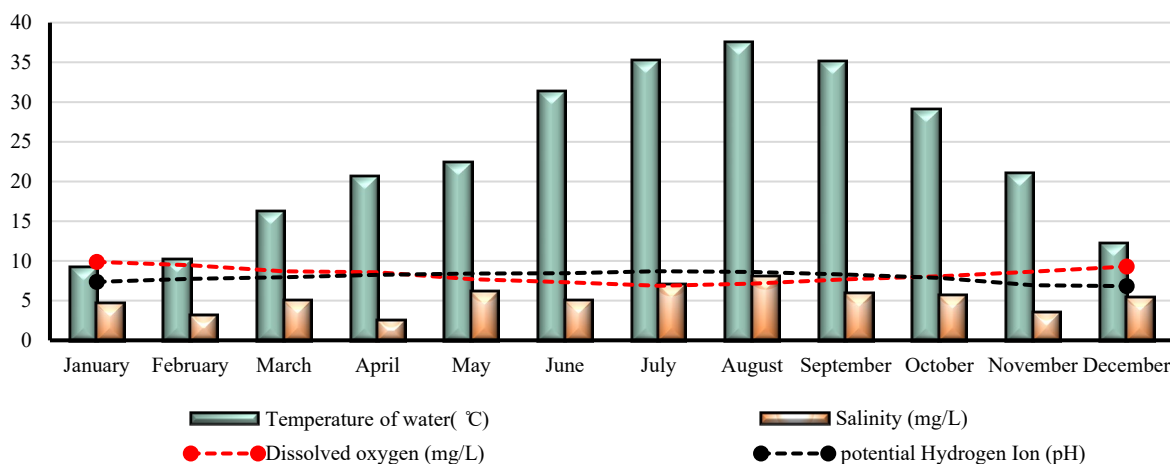


Fig. 2. Monthly changes in temperature, salinity, dissolved oxygen, and pH in the Third River

Throughout the study period, pronounced fluctuations were recorded in the concentrations of both nitrate and reactive phosphate. Nitrate values ranged between 0.66 mg/L in May and 1.12 mg/L in January. Similarly,

reactive phosphate exhibited its highest numerical value in January (1.12 mg/L) and its lowest in May (0.66 mg/L), as shown in **Figure 3**.

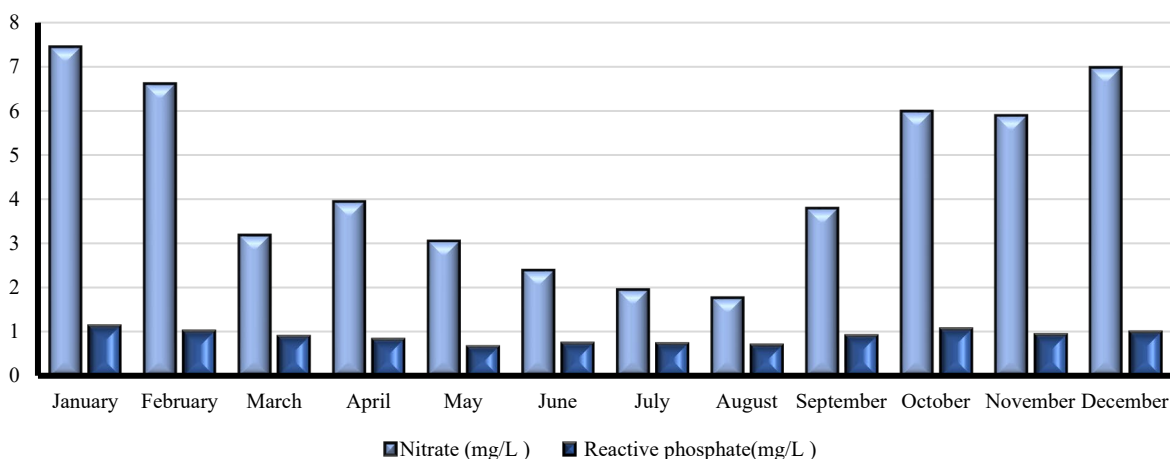


Fig. 3. Monthly variations in nitrate and phosphate levels in the Third River

Feeding Activity and Stomach Fullness

A total of 386 specimens of *Planiliza abu* were collected over the course of the study. Examination of stomach contents revealed that the highest frequency of empty stomachs occurred during the winter, whereas the lowest proportion was recorded in summer. Conversely, summer exhibited the highest proportion of fully filled stomachs. During spring and autumn, the degree of stomach fullness in the examined fish showed noticeable variation (**Fig. 4**).

Table 1 presents the number of stomachs containing food, feeding intensity, and feeding activity of the examined fish across the study seasons. The total seasonal distribution of analyzed individuals was 215 in winter, 63 in spring, 58 in summer, and 50 in autumn. The highest number of empty stomachs was recorded during winter (35 individuals), whereas during spring and autumn, empty stomachs reached 10 and 9, respectively.

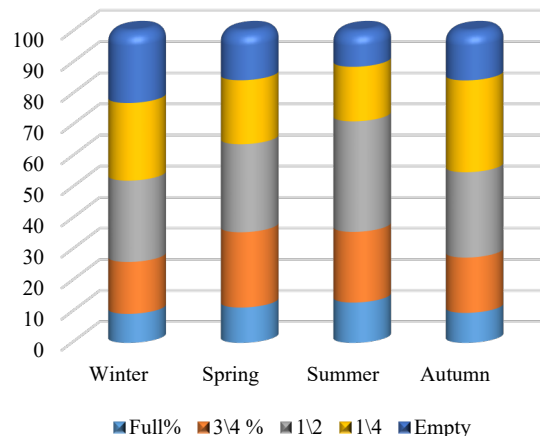


Fig. 4. Monthly variations in stomach fullness of *Planiliza abu* in the Third River

Feeding activity (%) varied seasonally, with the highest value recorded in summer (87.93 %) and the lowest in winter (80.9 %). Feeding intensity also exhibited marked seasonal variation, with the lowest value observed in winter (11.73 degree/fish) and the highest in summer (14.11 degree/fish). In spring and autumn, feeding intensity values were 13.91 and 12.52 degree/fish, respectively.

Table 1

Seasonal variations in *Planiliza abu* feeding parameters in the Third River

Parameter / Method	Winter	Spring	Summer	Autumn
Number of intestines tested	215	63	58	50
Stomachs containing food	180	53	51	41
Empty stomachs	35	10	7	9
Feeding activity (%)	80.90	84.13	87.93	82.00
Feeding intensity (degree/fish)	11.73	13.91	14.11	12.52

Dietary Composition

The dietary components consumed by *P. abu* showed clear variation throughout the study period according to both the points and frequency of occurrence methods. The species fed on algae, plants and seeds, diatoms, organic debris, aquatic insects, crustaceans, mollusks, and worms, all of which were detected in the digestive tracts. In addition, sand and clay particles were consistently present in the intestines of the examined fish across all sampling months.

Table 3

Age distribution, mean total length, mean body weight, and sex ratio of *Planiliza abu* in the Third River

Age group	Juvenile		Females		Males		All fish		Length (cm) Mean ± S.D.	Weight (g) Mean ± S.D.	Sex ratio (♂ : ♀)
	N	%	N	%	N	%	N	%			
0	89	74.17	3	2.08	1	0.82	93	24.09	9.81 ± 0.93	9.02 ± 1.79	1 : 0.33*
1	31	25.83	48	33.33	39	31.97	118	30.57	12.11 ± 0.79	15.96 ± 4.82	1 : 1.23
2	0	0	59	40.97	51	41.80	110	28.50	15.09 ± 0.77	39.82 ± 6.05	1 : 1.16
3	0	0	32	22.22	30	24.59	62	16.06	17.94 ± 0.88	71.27 ± 8.33	1 : 1.07
4	0	0	2	1.39	1	0.82	3	0.78	19.13 ± 0.97	89.11 ± 9.66	1 : 2.00*
Total	120	100	144	100	122	100	386	100	14.18 ± 6.94	50.85 ± 38.27	1 : 1.21

Gonadal examination conducted on all 386 specimens revealed 89 juveniles, 122 males, and a predominance of females (144 individuals). Accordingly, the overall sex ratio significantly favored females at 1 : 1.21. Furthermore, a statistically significant difference was observed in the youngest age group (Age 0) in favor of males compared with the other age groups, with a ratio of 1 : 0.33. In contrast, the fourth age group (Age 4) showed a significant predominance of females, with a sex ratio of 1 : 2 at a statistically significant level ($p < 0.05$), as indicated in **Table 3**.

Physicochemical Properties of Water

Water temperature is considered one of the most influential environmental factors affecting the distribution of aquatic organisms [6, 9], in addition to having a direct impact on their physiological processes [11, 39]. The present study revealed noticeable fluctuations in water temperature throughout the year, which are closely associated with the prevailing climatic conditions. Iraq's geographical location imposes a climate characterized by high temperatures during summer and relatively low temperatures in winter, a pattern reflected in the number

Diatoms ranked first in terms of the Index of Relative Importance (%IRI), accounting for 47.23 %, followed by algae (33.20 %) and organic debris (11.19 %), whereas mollusks occupied the final rank with the lowest contribution (0.08 %), as shown in **Table 2**.

Table 2

Relative Importance Index (%IRI) of digestive tract contents in *Planiliza abu*

Food items	Point method		Frequency of occurrence		%IRI
	N	%	N	%	
Algae	704	28.47	168	93.33	33.20
Plants and seeds	55	2.23	47	26.11	0.73
Diatoms	967	39.10	174	96.67	47.23
Organic debris	309	12.49	129	71.67	11.19
Aquatic insects	0	0.00	0	0.00	0.00
Crustaceans	110	4.45	90	50.00	2.77
Unidentified decomposing matter	51	2.06	48	26.67	0.69
Mollusca	20	0.81	14	7.78	0.08
Worms	257	10.39	57	31.67	4.11

Population Structure: Age, Growth, and Sex Ratio

The results revealed the presence of four age groups of *P. abu* during the study period, with a dominance of the first age group (Age 1), represented by 118 individuals out of the 386 fish. The mean total length of the collected population was 14.18 cm, while the mean total weight reached 50.85 g (**Table 3**).

of *Planiliza abu* individuals collected. This observation is consistent with the findings of Demirci [20], who reported that fish catch rates increase during warmer months compared with colder periods, owing to enhanced fish activity resulting from elevated metabolic and biological processes.

The recorded pH values exhibited only minor monthly variations, with an overall tendency toward alkaline conditions. This characteristic is typical of Iraqi waters due to their high bicarbonate content [3]. Moreover, the Third River was originally designed to convey saline drainage waters resulting from the irrigation of agricultural lands in central and southern Iraq [10]. In this context, monthly variations revealed a clear divergence in salinity concentrations throughout the study period. Salinity values showed a marked decline in January, followed by a gradual increase that reached peak levels from July to August. This pattern is likely attributable to reduced water discharge in the study area, combined with elevated summer temperatures and increased evaporation rates, which collectively led to higher concentrations of dissolved salts.

Dissolved oxygen (DO) concentration represents another key environmental parameter, playing a fundamental role in regulating vital biological functions [17]. In this study, DO concentrations varied over the seasonal cycle, with the lowest values recorded during the summer months. This decline may be related to the density of aquatic vegetation and the associated oxygen dynamics linked to photosynthetic activity, as well as the shallowness of the water column. Furthermore, the decomposition of submerged aquatic plants – often directly exposed to solar radiation during periods of low water levels – may have contributed to these variations. Overall, DO concentrations did not drop below the critical threshold of 4 mg/L, which is commonly used as an indicator of organic pollution [36].

The results also indicated elevated nitrate (NO_3) concentrations during December and January compared with the remaining months at both sampling stations. This increase is likely due to winter rainfall over nitrogen-fertilized agricultural lands, with subsequent runoff transporting nutrients into nearby water bodies [29]. This interpretation is highly applicable to the study area, as most lands adjacent to the Third River are predominantly agricultural. Additionally, nitrate is often reduced to nitrite under low-temperature conditions, subsequently leading to an increase in its concentration [40]. These findings are consistent with those reported by Al-Imarah et al. [2] in the East Hammar Marsh. Conversely, the observed decline in nitrate concentrations during August may be attributed to nutrient uptake by phytoplankton, as well as to nitrate reduction processes under high-temperature conditions [31].

Phosphates are essential nutrients that strongly influence the growth and reproduction of phytoplankton [26]. In this study, elevated phosphate (PO_4) values were recorded during December and January, which may be related to reduced utilization by phytoplankton and other aquatic organisms during the colder season. Rainfall may also play a significant role by dissolving phosphorus compounds from the Earth's crust and washing agricultural soils into the aquatic system. These results are in agreement with Al-Imarah et al. [2]. In contrast, the decline in phosphate concentrations observed during July and August is likely associated with the increased abundance and uptake by phytoplankton and aquatic macrophytes. Based on these findings, the assessment of physicochemical parameters did not reveal any concentrations exceeding critical thresholds that could pose a threat to the natural population dynamics of *P. abu* within this water body.

Nutritional Composition and Feeding Ecology

The gastrointestinal contents of 386 specimens of *Planiliza abu* were examined. Among these, 35 individuals exhibited empty intestines during the winter season, representing the highest proportion of empty stomachs recorded throughout the study period. Conversely, the highest values for feeding activity (%) and feeding intensity were documented during the summer months. These seasonal shifts can be attributed to fluctuations in water temperature, food availability, fish activity, and reproductive processes [10, 45].

An increase in the feeding intensity of *P. abu* during summer typically follows the spawning period [30], as

fish actively replenish the energy expended during reproduction and accumulate somatic reserves to support subsequent reproductive cycles. This seasonal pattern is consistent with the observations reported by Abdul-Razak and Al-Hassani [1] and Batal et al. [15]. Notably, despite the pronounced seasonal variation in feeding intensity, *P. abu* inhabiting the Third River continues to feed even during the winter months.

Based on both the points and frequency of occurrence methods, diatoms recorded the highest Index of Relative Importance (%IRI), accounting for 47.23 %, followed by algae in the second rank. Reynolds [50] reported that algae exhibit bloom phases during spring and autumn within the water column, while settling onto the substrate during periods of reduced activity in summer and winter. Through these sedimentation dynamics, both algae and diatoms eventually reach the bottom, making them highly accessible to benthic-feeding fish.

This explains the high proportion of algae observed in the stomach contents and its ranking immediately after diatoms, confirming that *P. abu* exhibits a detritivorous, bottom-feeding behavior in this habitat. These findings are in close agreement with those reported by Mohamed et al. [33], Mutlak [34], and Hussain et al. [27], who similarly documented diatoms as the dominant dietary component based on the %IRI.

Organic debris was recorded with a total frequency of 129 occurrences across all months of the study, accounting for a frequency of occurrence of 71.67 %. This substantial contribution can be attributed to the increased deposition of organic matter on the substrate of the water body, resulting from the abundance of decomposed materials, particularly toward the end of the phytoplankton bloom period that typically occurs in autumn. Such environmental conditions are directly reflected in the elevated contribution of these detrital components to the diet of *P. abu*.

In contrast, crustaceans, mollusks, and worms were present at relatively low proportions in the diet. Their occurrence in the feeding spectrum of *P. abu* is likely incidental, resulting from accidental ingestion along with the primary food items, a finding that aligns with Al-Zaidy et al. [11, 12].

Furthermore, the analysis revealed that sand and clay particles constituted a noticeable portion of the gastrointestinal contents of *P. abu*. However, the percentages of these inorganic particles were excluded from the primary dietary analysis on the assumption that they do not represent actual nutritional items. Shamma'a & Jasim [48] suggested that the presence of sand in the stomach of *P. abu* is related to sediment deposition and the mechanical difficulty of eliminating such heavy particles from the digestive tract during suction feeding.

Additionally, Mondal (2017) [42] reported a positive relationship between the amount of organic matter and the proportion of sand particles in the diet of *P. abu*, as benthic fish are unable to avoid ingesting sediment while scraping or vacuuming organic detritus and diatoms from the riverbed.

Age Structure and Sex Ratio

Age and growth assessment is regarded as one of the key tools for identifying age classes and associated

indicators used in sustainable fisheries management. Information derived from such analyses represents an essential component for predicting potential changes in population structure [13]. The results of the present study revealed the existence of four age classes for *P. abu*.

This contrasts with the findings reported by Mhaisen and Al-Jaffery [32] in a Babylon Fish Farm, Iraq; Doğu et al. [21] in Atatürk Dam Lake, Turkey; and Shakir and Al-Asadiy [44] in the Euphrates River (Al-Qadisiyah Province, Iraq), where five age classes were identified for the same species. In line with these earlier studies, it may be inferred that *P. abu* does not attain very advanced ages in the present water body. Such discrepancies among studies are likely attributable to differences in environmental conditions, which may not equally provide optimal habitats for the species across all geographical locations.

The overall sex ratio of *P. abu* exhibited a clear tendency toward female dominance, with a ratio of 1.21 : 1 (females to males). This finding is comparable to the ratios reported by Naama et al. [35] in the East Hammar Marsh and Ay and Özcan [43] in the Orontes River, Turkey, who documented an overall sex ratio favoring females at 1 : 1.29. In contrast, Al-Daham & Yousif [47] reported a sex ratio close to the theoretical equilibrium (1.09 : 1) in the Shatt Al-Basrah Canal, while Al-Shawi and Wahab [5] recorded a ratio of 1 : 0.93 in the Tuz-Chi tributary in northern Iraq. Conversely, a more pronounced dominance of females (2.7 : 1) was documented in the waters of Khuzestan [18].

Imbalances in the sex ratio of fish populations may be attributed to the selectivity of fishing gear, which may capture one sex more efficiently than the other, or to age-related differences in natural mortality rates between sexes [25, 49]. The statistically tested differences observed in the present study for the first and fourth age classes ($p > 0.05$) may be associated with the relatively small sample size examined within those specific groups [22].

On the other hand, the overall finding of no significant difference in the total sex ratio suggests that survival probabilities for both sexes may be relatively similar in this environment. This may also reflect comparable exposure to fishing pressure and similar responses to environmental factors influencing the growth and reproduction of this species.

Conclusions

The environmental parameters monitored in the Third River exhibited clear seasonal fluctuations driven by climatic conditions, but remained well within the tolerance limits for freshwater fish, with dissolved oxygen concentrations consistently staying above the critical organic pollution threshold of 4 mg/L, thereby indicating a healthy and non-hazardous aquatic environment for the local ichthyofauna throughout the study period. Within this habitat, *Planiliza abu* exhibits a clear detritivorous, benthic-feeding behavior, consuming a wide spectrum of bottom-dwelling items, where diatoms represent the primary dietary component with the highest Index of Relative Importance (%IRI = 47.23 %), followed closely by algae (%IRI = 33.20 %) and organic debris (%IRI =

11.19 %). This feeding activity and intensity are heavily regulated by temperature and reproductive cycles, reaching their peak values during the warm summer months post-spawning to replenish expended energy; notably, despite these distinct seasonal variations, *P. abu* continues to feed continuously throughout the entire year, including the winter season. Furthermore, the population structure of *P. abu* in the Third River is composed of four distinct age classes, with a marked dominance of the first age group (Age 1), indicating a relatively young population, while the overall sex ratio significantly favors females (1 : 1.21), with a pronounced female predominance observed in the oldest age group (Age 4), suggesting potentially higher survival rates or lower natural mortality for females in the advanced stages of life.

DECLARATIONS

Ethical Statement

All sampling and handling procedures of *Planiliza abu* specimens in this study were conducted in strict accordance with international ethical standards and veterinary-sanitary guidelines for the care and use of aquatic animals in scientific research. Fish collection was performed using standard non-destructive fishing gear (floating gill nets) under official monitoring regulations in the Third River. Since the study was based on the analysis of wild-caught fish obtained from commercial or authorized ecological monitoring catches, and did not involve experimental manipulation of live animals in a laboratory setting, formal institutional animal care committee approval was not required.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Abdul-Razak, M. M., & Al-Hassani, A. H. (2023). Trophic ecology of sciaenid fish (*Otolithes ruber*) and sparid fish (*Acanthopagrus arabicus*) in the northwest of the Arabian Gulf. *Indiana Journal of Agriculture and Life Sciences*, 3 (6), 32–41.
2. Al-Imarah, F. J. M., Al-Shawi, I. J. M., Issa, A. M., & Al-Badran, M. G. (2006). Seasonal variation for levels of nutrients in water from Southern Iraqi Marshlands after Rehabilitation 2003. *Marsh Bulletin*, 1 (1), 82–90.
3. AlRubaye, S. F., Al Haboubi, N. A., Al-Amili, H. A., Al-Allaq, A. H., & Rzaij, D. R. (2024). Monitoring Alkalinity and hardness during treatment of different water types. *Al-Khwarizmi Engineering Journal*, 20 (4), 38–45. <https://doi.org/10.22153/kej.2024.08.004>
4. Al-Shamma'a, A. A., Kadhom, M. J., & Mohammad, M. A. (2000). Length-weight relationship and condition factors of fish from Al-Qadisiya Reservoir, Iraq. *Scientific Journal of the Iraqi Atomic Energy Commission*, 2 (1), 133–138.

5. Al-Shawi, S. A. S., & Wahab, N. K. (2008). Some biological aspects of *Liza abu* (Heckel) fish in Tuz-Chi tributary, north Iraq. *Samara Journal*, 15, 214–228.
6. Altındağ, A., & Berdi, D. (2025). Rising temperatures, changing waters: The influence of abiotic factors on freshwater zooplankton community. *Desalination and Water Treatment*, 321, 100991. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.100991>
7. Al-Yamour, K. Y., Allouse, S. B., & Al-Jafary, A. R. (1988). Some biological aspects of *Liza abu* (Heckel) mugilidae, in al-daoodi drain. (Baghdad, Iraq). *Journal of Environmental Science and Health . Part A: Environmental Science and Engineering*, 23 (5), 497–508. <https://doi.org/10.1080/10934528809375428>
8. Al-Zaidy, K. J. (2013). First record of *Tilapia zillii* (Gervais, 1848) in Hawr Ad Dalmaj marsh west Al-Diwania city, middle of Iraq. *Diyala Agricultural Sciences Journal*, 5 (1), 9–16
9. Al-Zaidy, K. J. L. (2021). Water quality and conservation status of fish fauna of Main Outfall Drain, Al-Diwaniya City, Iraq. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 910 (1), 12062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/910/1/012062>
10. Al-Zaidy, K. J., & Parisi, G. (2025). The diet and feeding habits of *Leuciscus vorax* fish in the main outfall drain of Middle Iraq. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 56 (Special), 303–310. <https://doi.org/10.36103/2n8vc846>
11. Al-Zaidy, K. J., Parisi, G., & Al-Amari, M. J. Y. (2019). The fish community and food habits of fish species in Hawr Ad Dalmaj marsh. *Biochemical & Cellular Archives*, 19 (2), 3421–3429.
12. Al-Zaidy, K. J., Parisi, G., & Al-Shawi, S. A. (2019). Some aspects of the biology of *Planiliza abu* Heckel, 1843 from Hawr Ad Dalmaj marsh. *Biochemical & Cellular Archives*, 19 (1), 1811–1818.
13. Audzijonyte, A., Andersen, K. H., Atkinson, D., Bigman, J. S., Blanchard, J. L., Coghlan, A. R., Heather, F., Lindmark, M., Morrongiello, J. R., & Pauly, D. (2025). Which body size metrics should be used for assessing temperature impacts on fish growth and size? *Global Change Biology*, 31 (6), e70296. <https://doi.org/10.1111/gcb.70296>
14. Bagenal, T. B., & Tesch, F. W. (1978). Age and growth. In T. Bagenal (Ed.), *Methods for assessment of fish production in fresh waters* (International Biological Programme Handbook No. 3, 3rd ed., pp. 101–135). Blackwell Scientific Publications.
15. Batal, M. M., Mansour, C., & Deeb, D. (2021). The study of food spectrum of *Liza abu* (Heckel, 1843) in the lower part of Al-Asaad Lake Reservoir (Raqq, Syria). *Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Biological Sciences Series*, 43 (6), 81–92.
16. Beckman, W. C. (1962). *The freshwater fishes of Syria and their general biology and management* (FAO Fisheries Biology Technical Paper No. 8). FAO.
17. Carlino-Costa, C., & Belo, M. A. d. A. (2025). Ensuring fish safety through sustainable aquaculture practices. *Hygiene*, 5 (4), 51. <https://doi.org/10.3390/hygiene5040051>
18. Chelemal, M., Jamili, S., & Sharifpour, I. (2008). Reproductive biology and histological studies in *Abu mullet*, *Liza abu* in the water of the Khozestan Province. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 4 (1), 1–11. <https://doi.org/10.3923/jfas.2009.1.11>
19. Coad, B. W. (2010). *Freshwater fishes of Iraq* (Pensoft Series Faunistica No. 93). Pensoft Publishers.
20. Demirci, S. (2025). Impact of regional wind changes on trawl fishing effort under the pressure of overfishing in the Iskenderun Bay. *Sustainability*, 17 (5), 2055. <https://doi.org/10.3390/su17052055>
21. Zafer, D., Erdincedil, Ş. z., Faruk, A., & Ramazan, Ş. (2013). The growth characteristics of *Liza (Mugil) abu* (Heckel, 1843) in Atatrk Dam Lake. *African Journal of Agricultural Research*, 8 (34), 4434–4440. <https://doi.org/10.5897/ajar2013.7193>
22. Entia, J. C. D., Nabre, N. M. B., Castrence, G. A., Amoncio, R. A. D. A., & Guevarra, E. P. (2025). Morphometric and reproductive trends reveal near-equal sex ratio, positive allometric growth, and early maturity of *Euthynnus affinis* in Southern Philippine waters. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, 27 (2), 150–163. <https://doi.org/10.9734/ajfar/2025/v27i2888>
23. Feng, K., Wang, Q., Tao, K., Deng, W., Yuan, J., Liu, J., Li, Z., Erös, T., & Huguency, B. (2024). Life history strategies predict responses of lacustrine fish communities to eutrophication. *Science of the Total Environment*, 951, 175684. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.175684>
24. Fischer, W., & Bianchi, G. (1984). *FAO species identification sheets for fishing purposes: Western Indian Ocean (Fishing Area 51)* (Vols. 1–6). FAO.
25. Gardiner, C. E. C., von der Heyden, S., Matthee, C. A., Nielsen, E. E., Pujolar, J. M., Castilho, R., Cunha, R. L., Robalo, J. I., Durholtz, D., Fairweather, T. P., Kathena, J. N., & Henriques, R. (2025). Sex-linked differentiation in commercially exploited fishes: Rethinking population structure in dynamic marine environments. *Global Change Biology*, 31 (10), e70556. <https://doi.org/10.1111/gcb.70556>
26. Han, Y., & Wang, W. (2025). Bioavailability of phosphorus in marine ecosystems: Sources, transport, and ecological impacts. *International Journal of Marine Science*, 15 (2), 45–58. <https://doi.org/10.5376/ijms.2025.15.0027>
27. Hussain, N. A., Saoud, H. A., & Al Shami, E. J. (2008). Species composition and ecological indices of fishes in the restored marshes of southern Mesopotamia. *Marsh Bulletin*, 3 (1), 17–31.
28. Hynes, H. B. N. (1950). The food of fresh-water sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus* and *Pygosteus pungitius*), with a review of methods used in studies of the food of fishes. *The Journal of Animal Ecology*, 19 (1), 36–58. <https://doi.org/10.2307/1570>
29. Ijaz, M., Nisar, A., Ullah, A., Gul, Z., Muhammad, A., Ali, H., Zeeshan, M., Anwar, Dr. S., & ssaqib, N. (2025). Climate change and agricultural nitrogen losses: a review of mitigating strategies for soil, water, and environmental protection. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 12 (01), 74–91. <https://doi.org/10.36347/sjavs.v12i01.007>
30. Jorfiipour, M., Keivany, Y., Paykan-Heyrati, F., & Ghafoori, Z. (2022). Feeding indices of *Planiliza abu* (Heckel, 1843) in Karun River, Southwestern Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 20 (4), 693–700.
31. López-Sandoval, D. C., Fernández-González, C., González-García, C., & Marañón, E. (2025). Warming accelerates phytoplankton bloom dynamics and differentially affects the fluxes of carbon, nitrogen, and oxygen through a coastal microbial community. *Microbial Ecology*, 88 (1), 117. <https://doi.org/10.1007/s00248-025-02643-9>
32. Mhaisen, F. T., & Al-Jaffery, A. R. (1989). Determination of age and growth of the mugilid fish *Liza abu* (Heckel) inhabiting Babylon Fish Farm, Hilla, Iraq. *Journal of Biological Science Research*, 20 (3), 547–554.
33. Mohamed, A.-R. M., Hussain, N. A., Al-Noor, S. S., Mutlak, F. M., Al-Sudani, I. M., Mojer, A. M., Toman, A. J., & Abdad, M. A. (2008). Fish assemblage of restored Al-Hawizeh marsh, Southern Iraq. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8 (2-4), 375–384. <https://doi.org/10.2478/v10104-009-0029-5>
34. Mutlak, F. M. (2012). *Stock assessment of some fish species from East Hammar marsh, Southern Iraq* (Doctoral dissertation). University of Basrah, Iraq.
35. Naama, A. K., Ahmed, H. A., & Al-Adhub, A. H. Y. (1986). Aspects of reproduction of the mullet *Liza abu* (Heckel) (Pisces, Mugilidae) in Al-Hammar Marsh, Iraq. *Cybiun*, 10 (1), 47–55.
36. Naaz, N., & Pandey, J. (2025). Human-driven eutrophication compounded by climate warming triggers ecosystem feedbacks to underscore the critical tipping point in the Ganga River, India. *Environmental Science and Pollution Research*, 32 (23), 13965–13981. <https://doi.org/10.1007/s11356-025-36499-w>
37. Parsons, T. R., Maita, Y., & Lalli, C. M. (1984). *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*. Pergamon Press.
38. Pillay, T. V. R. (1952). A critique of the method of study of food fishes. *Journal of the Zoological Society of India*, 4 (2), 185–200.
39. Qin, J., Ma, Z., & Li, Y. (2025). Review and outlook for research and development in aquatic life and ecosystems. *Aquatic Life and Ecosystems*, 1 (1). <https://doi.org/10.53941/ale.2025.100002>
40. Qiu, J., Zhang, C., Lv, Z., Zhang, Z., Chu, Y., Shang, D., Chen, Y., & Chen, C. (2024). Analysis of changes in nutrient salts and other water quality indexes in the pond water for largemouth bass (*Micropterus salmoides*) farming. *Heliyon*, 10 (3), e24996. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24996>
41. Sarkar, U. K., & Deepak, P. K. (2009). Feeding habits of the endangered fish *Chitala chitala* (Hamilton-Buchanan) from the river Ganga basin, India. *Journal of Applied Ichthyology*, 25 (3), 345–351.
42. Mondal, A. (2017). Feeding ecology, prey selection and growth performances of gold spot mullet, *Liza parsia* (Hamilton, 1822) in extensive brackish water farming system of Indian Sundarbans. *International Journal of Marine Biology and Research*, 2 (1), 1–7. <https://doi.org/10.15226/24754706/2/1/00111>

43. Ay, S., & Özcan, G. (2016). Some aspects of the biology of Abu mullet *Liza abu* (Heckel, 1843) in the Orontes River, Turkey. *Croatian Journal of Fisheries*, 74 (2), 49–55. <https://doi.org/10.1515/cjf-2016-0011>
44. Shakir, A. M., & Al-Asadiy, Y. D. K. (2018). Study age and growth of *Planiliza abu* fish in the Euphrates River that passing through Qadisiyah Governorate. *Al-Muthanna Journal for Agricultural Sciences*, 6 (4), 45–59.
45. Volkoff, H., & Rønnestad, I. (2020). Effects of temperature on feeding and digestive processes in fish. *Temperature*, 7 (4), 307–320. <https://doi.org/10.1080/23328940.2020.1765950>
46. Stergiou, K. I. (1988). Feeding habits of the Lessepsian migrant *Siganus luridus* in the eastern Mediterranean, its new environment. *Journal of Fish Biology*, 33 (4), 531–543. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1988.tb05497.x>
47. Al-Daham, N. K., & Yousif, A. Y. (1990). Composition, seasonality and abundance of fishes in the Shatt Al-Basrah Canal, an estuary in Southern Iraq. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31 (4), 411–421. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(90\)90035-p](https://doi.org/10.1016/0272-7714(90)90035-p)
48. Shamma'a, A. A., & Jasim, Z. M. (1993). The natural food of *Liza abu* during the flood in Al-Hammar Marsh, South Iraq. *Zoology in the Middle East*, 9 (1), 59–64.
49. Pauly, D. (1980). On the interrelationships between natural mortality, growth parameters, and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *ICES Journal of Marine Science*, 39 (2), 175–192. <https://doi.org/10.1093/icesjms/39.2.175>
50. Reynolds, C. S. (1984). Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater Biology*, 14 (2), 111–142. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.1984.tb00027.x>

ORCID

K. J. L. Al-Zaidy 

<https://orcid.org/0000-0002-4266-6957>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Comparative analysis of regulatory frameworks in different countries regarding the production of bacteriophage preparations

Yu. Horiuk¹ | H. Rudyk²

Article info

Correspondence Author

Yu. Horiuk

E-mail:

goruky@ukr.net

¹ Higher educational institution «Podillia State University»,
12, Shevchenko Str.,
Kamianets-Podilskyi, 32316,
Ukraine

² State Scientific-Research Control Institute of Veterinary Medicinal Products and Feed Additives,
11, Donetska Str., Lviv,
79019, Ukraine

Citation: Horiuk, Yu., Rudyk, H. (2026). Comparative analysis of regulatory frameworks in different countries regarding the production of bacteriophage preparations. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 141–147. doi: 10.31210/spi2026.29.01.23

The rise of antimicrobial resistance is one of the major global challenges in modern medicine and veterinary practice, necessitating the search for alternative or complementary antimicrobial approaches. Bacteriophages, as viruses that selectively infect bacteria, are considered promising agents for the prevention and treatment of bacterial infections, particularly those caused by antibiotic-resistant pathogens. Despite their significant therapeutic potential, the widespread implementation of phage-based products in clinical and veterinary practice is substantially limited by the lack of unified and clearly defined regulatory mechanisms governing their production, quality control, and use. The aim of this study was to conduct a comparative analysis of the regulatory frameworks governing the manufacture and circulation of bacteriophage products in the European Union, the United States of America, and Ukraine, with a focus on identifying regulatory gaps and determining prospects for the development of legislation in the field of veterinary medicine. The study analyzed current legislative acts, regulatory authority guidelines, pharmacopoeial requirements, and contemporary scientific publications related to phage therapy and the biotechnological production of phage preparations. The results demonstrate that in all reviewed jurisdictions bacteriophages are regulated as biological medicinal products; however, approaches to their legal classification, good manufacturing practice requirements, pharmacopoeial standardization, and clinical evaluation differ significantly. In the European Union, wild-type bacteriophages are considered conventional medicinal products, whereas genetically modified phages may fall under the regulatory framework for advanced therapy medicinal products. In the United States, phage products are subject to centralized regulation as biological medicinal products, with the possibility of individualized use in exceptional clinical cases. In Ukraine, specialized regulatory provisions, pharmacopoeial standards, and distinct regulatory approaches for bacteriophage products are currently lacking. The findings highlight the need for the development and harmonization of national legislation based on international experience to ensure the quality, safety, and efficacy of bacteriophage products and to establish a legal framework for their implementation in veterinary practice.

Keywords: bacteriophages, phage therapy, veterinary medicinal products, regulatory framework, good manufacturing practice, pharmacopoeial standards.

Порівняльний аналіз нормативно-правового регулювання різних країн щодо виробництва бактеріофагових препаратів

Ю. В. Горюк¹ | Г. В. Рудик²

¹ Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»,
м. Кам'янець-Подільський,
Україна

² Державний науково-дослідний контрольний інститут ветеринарних препаратів та кормових добавок,
м. Львів, Україна

Зростання антибіотикорезистентності є однією з ключових глобальних проблем сучасної медицини та ветеринарії, що зумовлює необхідність пошуку альтернативних або допоміжних антимікробних підходів. Бактеріофаги, як віруси, що вибірково інфікують бактерії, розглядаються як перспективні засоби для профілактики та лікування бактеріальних інфекцій, зокрема спричинених антибіотикостійкими збудниками. Попри значний терапевтичний потенціал, широке впровадження фагових препаратів у клінічну та ветеринарну практику суттєво обмежується відсутністю уніфікованих і чітких визначень регуляторних механізмів їх виробництва, контролю якості та застосування. Метою даного дослідження є порівняльний аналіз нормативно-правового регулювання виробництва та обігу бактеріофагових препаратів у Європейському Союзі, Сполучених Штатах Америки та Україні з акцентом на виявлення регуляторних прогалин і визначення перспектив розвитку законодавства у сфері ветеринарної медицини. У роботі проаналізовано чинні законодавчі акти, керівні документи регуляторних органів, фармакопейні вимоги, а також сучасні наукові публікації, що стосуються фагової терапії та біотехнологічного виробництва фагових препаратів. Встановлено, що у всіх розглянутих юрисдикціях бактеріофаги регулюються як біологічні лікарські засоби, однак підходи до їх правової класифікації, вимог належної виробничої практики, фармакопейної стандартизації та клінічної оцінки суттєво відрізняються. У Європейському Союзі фаги дикого типу розглядаються як звичайні лікарські засоби, тоді як генетично модифіковані фаги можуть підпадати під режим лікарських засобів прогресивної терапії. У США фагові продукти підлягають централізованому контролю як біологічні лікарські засоби з можливістю індивідуального застосування у виняткових клінічних випадках. В Україні ж відсутні спеціалізовані нормативні положення, фармакопейні стандарти та окремі регуляторні підходи до фагових препаратів. Отримані результати свідчать про необхідність розробки та гармонізації національного законодавства з урахуванням міжнародного досвіду з метою забезпечення належної якості, безпеки та ефективності бактеріофагових препаратів і створення правових передумов для їх впровадження у ветеринарну практику.

Ключові слова: бактеріофаги, фагова терапія, ветеринарні лікарські засоби, нормативно-правове регулювання, належна виробнича практика, фармакопейні стандарти.



Бібліографічний опис для цитування: Горюк Ю. В. Рудик Г. В. Порівняльний аналіз нормативно-правового регулювання різних країн щодо виробництва бактеріофагових препаратів. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 141–147.

Зростання стійкості до антимікробних препаратів є однією з найбільш серйозних загроз громадському здоров'ю, що обмежує ефективність традиційних антибіотиків як у гуманній, так і у ветеринарній медицині [1, 2]. За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я, поширення резистентних штамів бактерій призводить до значного зростання захворюваності, летальності та економічних втрат, а також обмежує можливості лікування критично важливих інфекцій [3]. У рамках концепції «Єдиного здоров'я» зниження використання антибіотиків у тваринництві стає ключовим елементом стратегії боротьби з антибіотикорезистентністю [4].

У цьому контексті бактеріофаги привертають увагу науковців як перспективна альтернатива антибіотикам або додатковий засіб комбінованої терапії [5, 6]. Проте, використання фагів у клінічній та ветеринарній практиці обмежене відсутністю чітких регуляторних механізмів. У різних регуляторних юрисдикціях бактеріофаги розглядаються як лікарські засоби, однак їх правовий статус залежить від біологічних характеристик і способу отримання. У Європейському Союзі генетично модифіковані фаги можуть підпадати під режим лікарських засобів прогресивної терапії, тоді як «дикі» фаги класифікуються як звичайні лікарські засоби та регулюються загальними вимогами належної виробничої практики [7]. У Сполучених Штатах Америки фаги віднесені до біологічних лікарських засобів і підлягають централізованому контролю на всіх етапах розробки, клінічної оцінки та виробництва [8]. Відсутність окремої регуляторної категорії для фагів зумовлює необхідність тлумачення чинного фармацевтичного законодавства та ускладнює їх впровадження у клінічну практику.

Таким чином, попри значний терапевтичний потенціал, впровадження фагової терапії стримується низкою технічних і регуляторних викликів. Виробництво бактеріофагових препаратів потребує суворого контролю якості, оптимізації процесів культивування та очищення, а також дотримання міжнародних вимог належної виробничої практики. Формування стандартизованих підходів до забезпечення безпеки, якості та ефективності фагових продуктів є ключовою передумовою їх широкого застосування як у гуманній медицині, так і у ветеринарній практиці. Тому необхідно здійснити комплексний порівняльний аналіз норм правового регулювання виробництва та використання бактеріофагових препаратів на світовому ринку та обґрунтувати напрями гармонізації національного законодавства у сфері ветеринарної медицини в Україні з урахуванням сучасних фармакопейних вимог.

Мета дослідження

Метою цього дослідження є порівняльний аналіз нормативно-правового регулювання виробництва й обігу бактеріофагових препаратів у ветеринарній медицині для виявлення існуючих прогалин та формування пропозицій щодо їх усунення.

У дослідженні використано методи аналізу та узагальнення наукової і нормативно-правової інформації, що стосується регулювання виробництва та використання бактеріофагових препаратів у ветеринарній медицині. Матеріалами дослідження були чинні нормативно-правові акти Європейського Союзу, США та України, які регулюють обіг ветеринарних лікарських засобів, а також офіційні керівні документи регуляторних органів у сфері фармацевтичного та ветеринарного контролю. Додатково проаналізовано положення фармакопей, що встановлюють вимоги до якості та безпеки біологічних препаратів, а також сучасні наукові публікації, присвячені фаготерапії та біотехнологічним аспектам виробництва фагових препаратів.

Для забезпечення об'єктивності та відтворності результатів сформовано систему критеріїв оцінювання регуляторних підходів, що включала: правовий статус бактеріофагів, вимоги до належної виробничої практики (GMP), наявність фармакопейних стандартів, процедури реєстрації та допуску на ринок, а також особливості клінічного застосування.

Обробку результатів дослідження здійснювали із застосуванням методів якісно-кількісного аналізу нормативно-правових даних. Для забезпечення порівняльності регуляторних підходів у різних юрисдикціях (ЄС, США, Україна) було сформовано аналітичну матрицю, що включала визначені критерії оцінювання. Кожен критерій оцінювали за уніфікованою шкалою (наявність/відсутність регуляторного механізму; рівень деталізації вимог), що дозволило провести структуроване міжсистемне порівняння.

Узагальнення результатів здійснювали з використанням методів контент-аналізу та порівняльної інтерпретації, а також елементів дескриптивної статистики (визначення частоти наявності окремих регуляторних елементів у досліджуваних системах). Обробку та систематизацію даних проводили із застосуванням стандартних програмних засобів (Microsoft Excel).

Результати та їх обговорення

У результаті проведеного аналізу встановлено, що бактеріофагові препарати мають значний потенціал як альтернативні антимікробні засоби, однак їх впровадження у практику стримується відсутністю уніфікованих регуляторних підходів. Проте, широке їх впровадження у клінічну практику обмежене через відсутність чітких регуляторних механізмів їх виготовлення та використання. Згідно існуючих фармакопейних стандартів бактеріофагові препарати не мають окремої категорії, а отже, рекомендацій щодо GMP і клінічних випробувань.

Фармацевтичне законодавство Європейського союзу згідно Директиви 2001/83/ЄС, з формальної точки зору, дає визначення «речовини» та охоплює всі речовини людського, тваринного, рослинного та хімічного походження, в тому числі мікроорганізми [9]. Проте фаги не походять з живого організму та не є хімічними речовинами. Також

сумнівною є теорія віднесення їх до мікроорганізмів, оскільки з наукової точки зору, віруси не є живими організмами. Проте Директива 2001/18/ЄС відносить віруси до поняття «організмів», а Директива 2009/41/ЄС прямо відносить віруси до мікроорганізмів [10, 11]. Крім того, у Додатку I Директиви 2001/83/ЄС прямо описуються лікарські засоби, що містять віруси або вірусні вектори, що логічно передбачає визнання вірусів як речовин у значенні фармацевтичного права [9]. Відтак бактеріофаги можуть бути кваліфіковані як речовини у розумінні Директиви 2001/83/ЄС. На **рисунку 1** наведено результати системного аналізу правового позиціонування бактеріофагів у межах фармацевтичного зако-

нодавства Європейського Союзу. Отримані дані свідчать, що бактеріофаги не мають чітко визначеної самостійної регуляторної категорії та можуть інтерпретуватися як активна фармацевтична субстанція у складі лікарського засобу. Встановлено, що їх правова класифікація залежить від біологічних характеристик, зокрема генетичного статусу, що зумовлює віднесення фагів дикого типу до «традиційних» лікарських засобів, тоді як генетично модифіковані форми можуть підпадати під регуляторні вимоги до лікарських засобів прогресивної терапії. Таким чином, результати аналізу демонструють фрагментарність підходів до правового регулювання фагових препаратів та відсутність уніфікованої класифікаційної моделі.



Рис. 1. Місце бактеріофагів у правовому регулюванні

Для однозначної правової класифікації необхідно також визначити, до яких категорій лікарських засобів фагова терапія не належить. Фаги не є клітинами або тканинами у розумінні Директиви 2004/23/ЄС, не є продуктами крові, не кваліфікуються як ксеногенні лікарські засоби та не підпадають під регулювання медичних виробів [12]. Крім того, фагові терапевтичні засоби, призначені для лікування бактеріальних інфекцій, не є імунологічними лікарськими засобами, оскільки їхній механізм дії не полягає в індукції імунітету [13, 14].

Терапевтичний ефект фагової терапії полягає у прямому бактерицидному впливі фага на цільову бактерію [5, 6]. Цей ефект не може бути зведений лише до дії фагової нуклеїнової кислоти, оскільки остання не здатна самостійно проникати в бактеріальну клітину та ініціювати інфекційний цикл [4]. Відтак фаг у повному біологічному обсязі, що включає нуклеїнову кислоту та білковий капсид, є джерелом фармакологічної дії і, відповідно, активною

речовиною у значенні статті 1(3а) Директиви 2001/83/ЄС [9].

Водночас, фаг як активна речовина не може застосовуватися терапевтично у «голому» вигляді [7, 13]. Для клінічного використання фаги повинні бути поєднані з допоміжними речовинами та приведені у відповідну лікарську форму залежно від місця та характеру інфекції. Лише готова лікарська форма, виготовлена промислово або індивідуально в аптеці, може бути кваліфікована як лікарський засіб. У першому випадку застосовується Директива 2001/83/ЄС, у другому – відповідне національне законодавство [9].

З точки зору генетичного статусу, фаги дикого типу не є генетично модифікованими організмами та не підпадають під регулювання лікарських засобів генної терапії [14, 15]. Натомість, генетично модифіковані фаги, що містять рекомбінантні нуклеїнові кислоти, можуть за певних умов бути кваліфіковані як лікарські засоби прогресивної терапії у формі генної

терапії (GTMP) відповідно до Регламенту (ЄС) № 1394/2007 [16]. У такому разі вони одночасно належать і до біологічних лікарських засобів.

Таким чином, терапевтичні засоби на основі фагів дикого типу, виготовлені з бактерій, що не є ГМО, за чинним правом ЄС слід кваліфікувати як «звичайні» лікарські засоби за функцією, тоді як лише рекомбінантні фагові терапевтичні засоби можуть підпадати під спеціальний регуляторний режим лікарських засобів прогресивної терапії.

Саме ці проблеми стали підставою для проведення порівняльного аналізу регуляторного статусу фагових

продуктів у трьох юрисдикціях (*табл. 1*). Для забезпечення системності дослідження було застосовано уніфікований підхід до оцінювання, що передбачав зіставлення ключових регуляторних параметрів за визначеними критеріями, зокрема правової класифікації, вимог до виробництва, процедур контролю якості, фармакопейного забезпечення та механізмів допуску на ринок. Це дозволило не лише описати існуючі підходи, але й виявити їхню концептуальну узгодженість або фрагментарність.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз правового регулювання виробництва бактеріофагових препаратів

Аспект регулювання	ЄС	Україна	США
Законодавча база	Директива 2001/83/EC (медичні лікарські засоби, їх обіг, виробництво, якість тощо)	Закон України «Про лікарські засоби» № 2469-IX (обіг, якість, контроль)	Federal Food, Drug, and Cosmetic Act (FD&C Act) та Public Health Service Act (PHS Act)
Категорії терапевтичних засобів	Можуть підпадати під ATMP Regulation (Reg. 1394/2007) якщо відповідають критеріям передових терапевтичних продуктів	Немає окремої категорії ATMP/GTMP; фаги розглядаються як звичайні біопрепарати/ЛЗ	Розглядаються як біологічні лікарські засоби (biological products/drugs) та регулюються через FDA/CBER; застосування можливе через IND/клінічні шляхи
Юридична природа бактеріофагів у регуляторному полі	Не згадуються окремо, але можуть тлумачитися як активна речовина/ЛЗ	Правовий статус прямо не визначено; розглядаються як фармацевтичні субстанції	Правовий статус прямо не визначено; розглядаються як фармацевтичні субстанції
Типологія фагових продуктів за генетичною/біологічною специфікою	«дикі фаги» як звичайні ЛЗ; GM фаги можуть потрапляти під ATMP/GTMP	Всі фагові продукти класифікуються як ЛЗ/біопрепарати без окремої ATMP категорії	Фаги та фагові коктейлі розглядаються як біологічні лікарські засоби, кожен продукт має довести безпеку й ефективність через IND/BLA
Основні вимоги до належної виробничої практики (GMP)	EU GMP обов'язкові для ЛЗ та активних речовин; система EudraGMP	GMP обов'язкові для зареєстрованих ЛЗ; підтвердження відповідності GMP за Наказом МОЗ № 1130	cGMP обов'язкові для ліків і біопрепаратів (включно з фагами) згідно 21 CFR 210–211; FDA контролює процеси, обладнання та якість усього виробництва, з гнучкістю на ранніх стадіях IND
Специфічні GMP-вимоги для складних/біотехнологічних ЛЗ	Part IV EU GMP Guideline встановлює специфічні вимоги до ATMP (ризик-орієнтований підхід, якість, документація, обладнання тощо)	Немає окремого документу для ATMP; загальні GMP-настанови застосовуються до всіх ЛЗ	Для біологічних препаратів (biologics) FDA застосовує специфічні GMP-вимоги щодо якості, безпеки, чистоти та стабільності у виробництві без виділення окремої ATMP-категорії
Контроль виробництва фагових препаратів	Виробництво активних речовин фагів має відповідати GMP плюс вимоги якості згідно ICH та Ph. Eur. (якість, чистота, стабільність)	Будь-яке виробництво фагових активних речовин/ЛЗ підпадає під національні GMP-вимоги до ліків/біопрепаратів	FDA через CBER контролює виробництво біологічних продуктів (включно з фагами): дотримання cGMP (21 CFR 210/211 та 600–680), інспекції та GMP-керівні рекомендації щодо якості, чистоти та виробництва (CMC & GMP)
Аптечне виготовлення та персоналізовані терапевтичні продукти	Не регулюється у Directive 2001/83/EC; кожна держава-член визначає вимоги до магістральних форм	Магістральні / індивідуальні форми готуються за нац. правилами; GMP для серійного виробництва	FDA дозволяє індивідуальне застосування нестворених препаратів (в т.ч. біологічних) через expanded access (Individual Patient IND) для пацієнтів без альтернатив, без повної реєстрації
Процедури реєстрації та допуску на ринок	Стандартна CTD; GM фагові ATMP окремо через EMA	Реєстрація через ДСЕС/МОЗ; без окремого процесу для GM фагів	Phage продукти не мають широкого FDA схвалення; Investigational New Drug (IND) для клінічних досліджень
Стандарти якості за фармакопейними вимогами	European Pharmacopoeia (Ph. Eur.); розробляється глава для фагів	Державна фармакопея України; окремих фармакопейних стандартів для фагів немає	USP для біопрепаратів / антибактеріальних засобів
Вимоги до клінічних досліджень	Regulation (EU) No 536/2014 – вимоги до CT	Нац. правила МОЗ/ДСЕС для клінічних випробувань	FDA IND / clinical trials: фагові продукти проходять Phases I–III; перші GM фагові IND схвалено у США

Узагальнення даних, наведених у *таблиці 1*, дозволило встановити наявність принципових відмінностей у регуляторних підходах до бактеріофагових препаратів, які проявляються на рівні правової класифікації, вимог до виробництва, стандартизації якості та процедур допуску на ринок. Проведений аналіз показав, що у всіх досліджуваних юрисдикціях відсутня чітко уніфікована модель регулювання бактеріофагів як окремої категорії лікарських засобів, що зумовлює використання адаптивних або інтерпретаційних підходів до їх правового статусу. При цьому встановлено, що найбільш структурованою є система ЄС, яка допускає варіативність класифікації (зокрема віднесення до АТМР), тоді як у США домінує біологічна модель регулювання через FDA, а в Україні спостерігається нормативна невизначеність.

Додатково встановлено, що спільною рисою для всіх юрисдикцій є застосування загальних вимог належної виробничої практики (GMP) до фагових препаратів, однак рівень їх спеціалізації суттєво відрізняється. У ЄС та США простежується тенденція до впровадження ризик-орієнтованих підходів та гнучких регуляторних механізмів, що особливо важливо для інноваційних біологічних агентів, тоді як в Україні такі підходи залишаються недостатньо розвиненими.

Порівняльний аналіз також дозволив виявити критичні прогалини у фармакопейному регулюванні: якщо у ЄС вже здійснюється розробка спеціалізованих монографій для бактеріофагів, а у США застосовуються узагальнені стандарти для біологічних препаратів, то в Україні відповідна нормативна база фактично відсутня. Це обмежує можливості стандартизації якості, відтворюваності виробництва та забезпечення безпеки фагових препаратів.

Бактеріофагові продукти в різних юрисдикціях регулюються як біологічні лікарські засоби, проте підходи до їх контролю суттєво відрізняються. Оскільки у Європейському Союзі основною законодавчою базою є Директива 2001/83/ЄС [9], яка встановлює загальні правила для обігу лікарських засобів, в той час для складних біологічних продуктів застосовується Регламент 1394/2007 [16], що передбачає ризик-орієнтований підхід до оцінки безпеки та ефективності. Фаги можуть підпадати під категорію АТМР (лікарських засобів прогресивної терапії), особливо якщо вони генетично модифіковані, тоді як «дикі» фаги розглядаються як звичайні лікарські засоби. Юридично фаги у ЄС не виділені окремо, але можуть тлумачитися як активна речовина лікарського засобу. Виробництво фагових продуктів повинно відповідати вимогам EU GMP, а для АТМР діють специфічні положення в Частині IV EU GMP, включно з документацією, обладнанням та контролем якості. Реєстрація стандартних лікарських засобів відбувається за процедурою CTD, тоді як GM фагові АТМР оцінюються окремо через Європейське агентство з лікарських засобів. Фармакопейні стандарти забезпечуються Європейською фармакопеею, де розробляються спеціальні розділи щодо фагів, що регламентують їхню якість, чистоту та стабільність. Клінічні дослідження фагових препаратів регулюються Регламентом 536/2014, який

встановлює правила проведення клінічних випробувань лікарських засобів у ЄС [17]. Фаги не спричинюють специфічної імунної відповіді тому їх не можна відносити до вакцин, які контролюються залежно від домінантного механізму дії згідно Регламенту щодо медичних виробів та правил для лікарських засобів. Окрім того, у ЄС фагова терапія визначається як нова терапія, що підпадає під дію Регламенту (ЄС) 2019/6 про ветеринарні лікарські засоби, який регулює процес отримання реєстраційного посвідчення на такі препарати [18]. Для надання додаткових рекомендацій Європейське агентство з контролю лікарських засобів розробило «Керівництво щодо якості, безпеки та ефективності ветеринарних лікарських засобів, спеціально розроблених для фагової терапії», де описано основні вимоги до характеристики фагів, оцінки їх безпечності та ефективності. Крім того, нещодавно Європейська фармакопея поповнилася загальним розділом про лікарські засоби фагової терапії для використання у гуманній та ветеринарній медицині, який визначає стандарти якості для виробництва та контролю фагових препаратів [19].

У США фаги регулюються як біологічні лікарські засоби під контролем FDA (Управління з контролю за продуктами та ліками) та CBER (Центр оцінки та дослідження біологічних препаратів) відповідно до FD&C Act (Федеральний закон про харчові продукти, ліки та косметику) та PHS Act (Федеральний закон про громадське здоров'я) [20]. Їх застосування можливе через процедуру «нова лікарська речовина» (IND), а для виходу на ринок потрібне подання BLA (Ліцензія на біологічний препарат). Юридичний статус фагів визначено як фармацевтичні субстанції, і всі фагові продукти проходять суворий контроль якості через cGMP та включає CMC-регуляції. FDA дозволяє індивідуальне застосування фагів у випадках, коли альтернативи відсутні [21, 22]. У цьому випадку фармакопейні стандарти забезпечуються USP (Фармакопея США) для біопрепаратів і антибактеріальних агентів. Клінічні дослідження проходять I–III фази, включно з першим схваленням GM фагових IND. Фаги не вважаються вакцинами без специфічної імунної дії, а комбіновані продукти регулюються залежно від домінантного механізму дії за правилами для лікарських засобів/медичних виробів [23].

Встановлено, що в Україні регулювання бактеріофагових препаратів має фрагментарний характер і не враховує специфіки цих біологічних агентів, що створює суттєві бар'єри для їх розробки, реєстрації та застосування у ветеринарній медицині. В Україні регуляторна база визначена Законом № 2469 IX «Про лікарські засоби», який охоплює обіг, виробництво та контроль якості ліків [24], проте не містить спеціальних положень для фагових продуктів або АТМР. Фаги розглядаються як фармацевтичні субстанції або біопрепарати, усі типи фагових продуктів класифікуються як звичайні ліки. Виробництво має відповідати національним вимогам GMP, а для клінічних досліджень застосовуються загальні правила МОЗ/ДСЕС. Реєстрація фагових продуктів відбувається через ДСЕС/МОЗ без окремого процесу для GM фагів. Фармакопейних стандартів для фагів

наразі немає, а клінічні випробування здійснюються згідно національних правил. Персоналізовані або магістральні форми готуються за національними правилами з дотриманням GMP для серійного виробництва. У цьому контексті відсутність спеціальних нормативних положень і рекомендацій створює прогалини для локальної розробки, стандартизації та клінічного впровадження фагових продуктів. Це підкреслює нагальну потребу у розробці спеціалізованих нормативних актів, рекомендацій щодо GMP, стандартизації активної субстанції, фармакопейних норм та клінічних протоколів для фагових препаратів.

Висновки

Встановлено, що у всіх трьох юрисдикціях фаги класифікуються як біологічні лікарські засоби, проте деталі регуляторних вимог значно різняться. Обґрунтовано, що відсутність спеціалізованого нормативного регулювання в Україні є ключовим стримуючим фактором розвитку фаготерапії у ветеринарній медицині. Найбільші прогалини спостерігаються в Україні через відсутність окремих категорій, фармакопейних стандартів та специфічних GMP. Ситуація підкреслює необхідність розробки національних нормативних актів та рекомендацій, що забезпечать стандартизацію виробництва, контролю якості та клінічних випробувань фагових продуктів, створюючи правові та методологічні підстави для впровадження фагової терапії на національному рівні. Водночас, ЄС і США забезпечують більш детальну регуляторну підтримку, включно зі специфічними настановами для АТМР та інноваційних біопрепаратів, що може слугувати моделлю для адаптації національного законодавства.

Отримані результати можуть бути використані при розробці та вдосконаленні нормативно-правових актів у сфері ветеринарної медицини, а також у процесі гармонізації національного законодавства з міжнародними стандартами регулювання біологічних лікарських засобів.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Не застосовується.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автори заявляють, що під час підготовки цього рукопису використовувалися інструменти штучного

інтелекту ChatGPT. Використання III стосувалося окремих допоміжних етапів роботи над текстом і не вплинуло на змістовну частину дослідження. Інструмент штучного інтелекту використовувався виключно як допоміжний редакційний інструмент для стилістичного вдосконалення окремих речень та переходів між абзацами, покращення читабельності тексту та логічної зв'язності описових фрагментів, уточнення формулювань, які повністю перевірені авторами.

References

1. Perkiy, Yu., Kukhtyn, M., Boltyk, N., Klymyk, V., Rushchynska, T., Tykhonova, B., & Motkalyuk, N. (2026). Monitoring of antimicrobial resistance of pathogens of infectious dermatitis in dogs and cats in Ternopil. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 28 (121), 79–84. <https://doi.org/10.32718/nvlvet12108>
2. Kukhtyn, M., Malimon, Z., Salata, V., Rogalsky, I., Gutty, B., Kladnytska, L., Kravcheniuk, K., & Horiuk, Y. (2022). The effects of antimicrobial residues on microbiological content and the antibiotic resistance in frozen fish. *World's Veterinary Journal*, 374–381. <https://doi.org/10.54203/scil.2022.wvj47>
3. Anand, T., Virmani, N., Bera, B. C., Vaid, R. K., Kumar, A., & Tripathi, B. N. (2020). Applications of personalised phage therapy highlighting the importance of bacteriophage banks against emerging antimicrobial resistance. *Defence Life Science Journal*, 5 (4), 305–314. <https://doi.org/10.14429/dlsj.5.15760>
4. Punch, R., Azani, R., Ellison, C., Majury, A., Hynds, P. D., Payne, S. J., & Brown, R. S. (2025). The surveillance of antimicrobial resistance in wastewater from a one health perspective: A global scoping and temporal review (2014–2024). *One Health*, 21, 101139. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2025.101139>
5. Horiuk, Y. V., Kukhtyn, M. D., Horiuk, V. V., Sytnik, V. A., & Dashkovskyy, O. O. (2021). Effect of phage SAvB14 combined with antibiotics on *Staphylococcus aureus* variant bovis. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12 (3), 531–536. <https://doi.org/10.15421/022173>
6. Horiuk, Y., Kukhtyn, M., Kermychnyi, S., Laiter-Moskaliuk, S., Prosyanyi, S., & Boltyk, N. (2021). Sensitivity of *Staphylococcus aureus* cultures of different biological origin to commercial bacteriophages and phages of *Staphylococcus aureus* var. bovis. *Veterinary World*, 1588–1593. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2021.1588-1593>
7. Verbeke, G., & Pirnay, J.-P. (2022). European regulatory aspects of phage therapy: magistral phage preparations. *Current Opinion in Virology*, 52, 24–29. <https://doi.org/10.1016/j.coviro.2021.11.005>
8. João, J., Lampreia, J., Prazeres, D. M. F., & Azevedo, A. M. (2021). Manufacturing of bacteriophages for therapeutic applications. *Biotechnology Advances*, 49, 107758. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107758>
9. Yevropeiskyi Parlament, & Rada Yevropeiskoho Soiuzu. (2001). *Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2001/83/Yes vid 6 lystopada 2001 roku pro Kodeks Spivtovarystva shchodo likarskykh zasobiv, pryznachenykh dlia zastosuvannia liudynoiu* [Directive 2001/83/EC of the European Parliament and of the Council of 6 November 2001 on the Community code relating to medicinal products for human use]. Baza danykh "Zakonodavstvo Ukrainy" / Verkhovna Rada Ukrainy. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_013-01#Text [in Ukrainian]
10. Yevropeiskyi Parlament, & Rada Yevropeiskoho Soiuzu. (2001). *Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2001/18/Yes vid 12 bereznia 2001 roku pro navmysne vyvylnennia u dovkillia henetychno modyfikovanykh orhanizmiv ta pro skasuvannia Dyrektyvy Rady 90/220/Yes* [Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC]. Baza danykh "Zakonodavstvo Ukrainy" / Verkhovna Rada Ukrainy. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_011-01#Text [in Ukrainian]

11. Yevropeiskyi Parlament, & Rada Yevropeiskoho Soiuzu. (2009). *Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2009/41/Yes vid 6 travnia 2009 roku pro lokalizovane vykorystannia henetychno modyfikovanykh mikroorhanizmiv* [Directive 2009/41/EC of the European Parliament and of the Council of 6 May 2009 on the contained use of genetically modified micro-organisms]. Baza danykh "Zakonodavstvo Ukrainy" / Verkhovna Rada Ukrainy. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_012-09#Text [in Ukrainian]
12. Yevropeiskyi Parlament, & Rada Yevropeiskoho Soiuzu. (2004). *Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2004/23/Yes vid 31 bereznia 2004 roku pro vstanovlennia standartiv yakosti ta bezpechnosti dlia donatsii, zahotivli, testuvannia, pereroblennia, konservatsii, zberihannia ta realizatsii liudskykh tkanyh i klityn* [Directive 2004/23/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 on setting standards of quality and safety for the donation, procurement, testing, processing, preservation, storage and distribution of human tissues and cells]. Baza danykh "Zakonodavstvo Ukrainy" / Verkhovna Rada Ukrainy. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_001-04#Text [in Ukrainian]
13. Pirnay, J.-P., Verbeken, G., Ceysens, P.-J., Huys, I., De Vos, D., Ameloot, C., & Fauconnier, A. (2018). The magistral phage. *Viruses*, 10 (2), 64. <https://doi.org/10.3390/v10020064>
14. Faltus, T. (2024). The Medicinal Phage – regulatory roadmap for phage therapy under EU pharmaceutical legislation. *Viruses*, 16 (3), 443. <https://doi.org/10.3390/v16030443>
15. Álvarez, B., & Biosca, E. G. (2025). Harnessing the activity of lytic bacteriophages to foster the Sustainable Development Goals and the "One Health" strategy. *Viruses*, 17 (4), 549. <https://doi.org/10.3390/v17040549>
16. Yevropeiskyi Parlament, & Rada Yevropeiskoho Soiuzu. (2007). *Dyrektyva Yevropeiskoho Parlamentu i Rady 2004/23/Yes vid 31 bereznia 2004 roku pro vstanovlennia standartiv yakosti ta bezpechnosti dlia donatsii, zahotivli, testuvannia, pereroblennia, konservatsii, zberihannia ta realizatsii liudskykh tkanyh i klityn* [Regulation (EC) No 1394/2007 of the European Parliament and of the Council of 13 November 2007 on advanced therapy medicinal products and amending Directive 2001/83/EC and Regulation (EC) No 726/2004]. Baza danykh "Zakonodavstvo Ukrainy" / Verkhovna Rada Ukrainy. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_a28#Text [in Ukrainian]
17. European Parliament, & Council of the European Union. (2014). *Regulation (EU) No 536/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on clinical trials on medicinal products for human use, and repealing Directive 2001/20/EC* [32014R0536]. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2014/536/oj/eng>
18. European Parliament, & Council of the European Union. (2018). *Regulation (EU) 2019/6 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on veterinary medicinal products and repealing Directive 2001/82/EC* [32019R0006]. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2019/6/oj/eng>
19. Council of Europe. (2023). *Public consultation on new general chapter on phage therapy active substances and medicinal products for human and veterinary use in Pharmeuropa 35.2*. European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare. https://www.edqm.eu/en/about-edqm/-/asset_publisher/wQwK2Umbt4vx/content/public-consultation-on-new-general-chapter-on-phage-therapy-active-substances-and-medicinal-products-for-human-and-veterinary-use-in-pharmeuropa-35.2
20. Berryhill, B. A., Gil-Gil, T., Smith, A. P., & Levin, B. R. (2025). The future of phage therapy in the USA. *Trends in Molecular Medicine*, 31 (11), 982–991. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2025.03.013>
21. Kline, A., Cobián Güemes, A. G., Yore, J., Ghose, C., Van Tyne, D., Whiteson, K., & Pride, D. T. (2025). Current clinical laboratory challenges to widespread adoption of phage therapy in the United States. *Antibiotics*, 14 (6), 553. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14060553>
22. Moon, K., Coxon, C., Årdal, C., Botgros, R., Djebara, S., Durno, L., Fiore, C. R., Perrin, J.-B., Dixon, D. M., & Cavaleri, M. (2025). Considerations and perspectives on phage therapy from the transatlantic taskforce on antimicrobial resistance. *Nature Communications*, 16 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-025-64608-3>
23. Niazi, S. K. (2025). Bacteriophage therapy: Discovery, development, and FDA approval pathways. *Pharmaceuticals*, 18 (8), 1115. <https://doi.org/10.3390/ph18081115>
24. Verkhovna Rada Ukrainy. (1996). *Zakon Ukrainy "Pro likarski zasoby"* No. 123/96-VR [Law of Ukraine "On Medicinal Products" No. 123/96-VR]. Baza danykh "Zakonodavstvo Ukrainy" <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/123/96-bp#Text>

ORCID

Yu. Horiuk 
H. Rudyk 

<https://orcid.org/0000-0002-7162-8992>
<https://orcid.org/0000-0002-4152-560X>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Features of the clinical course of feline cystoisosporosis

V. Melnychuk  | Y. Hubskeyi

Article info

Correspondence Author

V. Melnychuk

E-mail:

vitaliy.melnichuk@pdau.edu.uaPoltava State Agrarian University,
Skovoroda Str., 1/3, Poltava,
36000, Ukraine**Citation:** Melnychuk, V., & Hubskeyi, Y. (2026). Features of the clinical course of feline cystoisosporosis. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 148–152. doi: 10.31210/spi2026.29.01.24

The parasitic genus *Cystoisospora* Frenkel 1977 includes members of the Apicomplexa, morphologically characterized by the presence of oocysts with two sporocysts, each containing four sporozoites. The species *Cystoisospora felis* (Wenyon 1923) Frenkel 1977 and *Cystoisospora rivolta* (Grassi 1879) Frenkel 1977 infect the enterocytes of cats and cause the disease cystoisosporosis. Clinical signs resulting from parasitization of cystoisosporosis are not always specific and are often similar to the manifestations of diseases caused by other intestinal pathogens, which leads to certain difficulties in conducting a comprehensive diagnosis of protozoosis. Therefore, the aim of the study was to establish the features of clinical manifestations in acute cystoisosporosis in cats. The study was conducted on the basis of the Laboratory of the Department of Parasitology and Veterinary Sanitary Examination of the Poltava State Agrarian University and in the conditions of a Private Veterinary Clinic "ZooLux" (Kyiv). It was found that with cystoisosporosis invasion intensity indicators of more than 500 oocysts in 1 g of feces, infected cats largely displayed such clinical signs as: depression and refusal of food (96.4 %), decreased appetite (92.9 %), dehydration (89.3 %), anemia of visible mucous membranes (85.7 %), dullness of the coat (78.6 %), vomiting (71.4 %), exhaustion (64.3 %) and thirst (60.7 %). Significantly expressed signs of abdominal distension and tenderness of the abdominal wall upon palpation were diagnosed in 21.4 and 39.3 % of cats infected with cystoisosporosis, respectively. Signs of diarrhea were found in 100 % of animals with cystoisosporosis, where the consistency of feces was of a different nature. The most frequently recorded was a watery consistency of feces (42.9 %), less often – with impurities of mucus (28.6 %) and blood (21.4 %). In 7.1 % of infected cats, diarrhea was accompanied by the presence of both mucus and blood in the feces. The obtained research results allow us to take into account the identified characteristic clinical signs during the diagnosis of cystoisosporosis in cats in order to increase its effectiveness.

Keywords: parasitology, cystoisosporosis, cats, clinical manifestation, severity of symptoms.

Особливості клінічного перебігу цистоізо스포зу котів

В. В. Мельничук | Ю. А. Губський

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Паразитичний рід *Cystoisospora* Frenkel, 1977 включає представників Apicomplexa, що морфологічно характеризуються наявністю ооцист із двома спороцистами, кожна з яких містить чотири спорозоїти. Види *Cystoisospora felis* (Wenyon 1923) Frenkel 1977 та *Cystoisospora rivolta* (Grassi 1879) Frenkel 1977 інвазують ентероцити котів і спричиняють захворювання – цистоізо스포з. Клінічні ознаки, що виникають внаслідок паразитування цистоізоспор, не завжди є специфічними і часто схожі з проявом хвороб, спричинених іншими кишковими патогенами, що призводить до певних труднощів у проведенні комплексної діагностики протозоозу. Тому, метою досліджень було встановити особливості клінічного прояву за гострого перебігу цистоізо스포зу в котів. Дослідження проводили на базі лабораторії кафедри паразитології та ветеринарно-санітарної експертизи Полтавського державного аграрного університету та в умовах приватної ветеринарної клініки «ЗооЛюкс» (м. Київ). Встановлено, що за показників інтенсивності цистоізо스포зної інвазії більше, ніж 500 ооцист у 1 г фекалій, у інвазованих котів значною мірою проявлені такі клінічні ознаки як: пригнічення та відмова від корму (96,4 %), зниження апетиту (92,9 %), зневоднення (89,3 %), анемічність видимих слизових оболонок (85,7 %), тьмяність шерстного покриву (78,6 %), блювання (71,4 %), виснаження (64,3 %) та спрага (60,7 %). Виражені значною мірою ознаки здуття черева та болочисті черевної стінки при її пальпації діагностовано у 21,4 та 39,3 % інвазованих цистоізоспорами котів відповідно. Ознаки діареї виявлено у 100 % хворих на цистоізо스포з тварин, де консистенція фекалій мала різний характер. Найчастіше зареєстровано водянисту консистенцію фекалій (42,9 %), рідше – з домішками слизу (28,6 %) та крові (21,4 %). У 7,1 % інвазованих котів діарея супроводжувалася одночасною наявністю у фекальних масах слизу та крові. Отримані результати досліджень дозволяють враховувати виявлені характерні клінічні ознаки під час проведення діагностування цистоізо스포зу котів з метою підвищення його ефективності.

Ключові слова: паразитологія, цистоізо스포з, коти, клінічний прояв, вираженість симптомів.**Бібліографічний опис для цитування:** Мельничук В. В., Губський Ю. А. Особливості клінічного перебігу цистоізо스포зу котів. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 148–152.

Вступ

Cystoisospora felis – це одноклітинний паразитичний організм, широко поширений серед котів і диких котятих у всьому світі [1–4]. Його життєвий цикл класифікується як факультативно гетероксенний, при якому коти можуть бути інвазовані або споруюваними ооцистами, або тканинними цистами, що містять лише одну життєву стадію – гіпнозоїти [5–9]. Зокрема, було проведено дослідження, у якому зазначається, що після експериментального зараження кошенят *C. felis* безстатевий та статевий розвиток відбувався в ентероцитах по всій довжині ворсинок тонкої кишки. Через 24 години мерогонія спостерігалася лише у дванадцятипалій та порожній кишках. Починаючи з 48-ї години, вся тонка кишка була уражена паразитами. Через 24 години меронти містили 1–4 зоїти, а через 48 годин – до 12 зоїтів. Починаючи з 72-ї години, клубова кишка була більш уражена паразитами ніж порожня кишка. Через 96 та 120 годин меронти містили багато зоїтів на різних стадіях розвитку. Гаметогонія відбувалася між 96-ю та 120-ю годинами, а ооцисти починали виділятися з фекаліями через 120 годин [10].

Такий біологічний цикл розвитку цистоізоспор зумовлює появу певних клінічних ознак у тварин, які, за даними вчених, не завжди є характерними і специфічними. Так, науковці зазначають, що за паразитування *C. canis* відбувається розмноження збудника у власній пластинці тонкої кишки та утворення на слизовій оболонці кишечника виразкових уражень, петехій, а також розвиток ентериту й діареї у цуценят [11, 12]. За паразитування *C. ohioensis* в інвазованих собак реєстрували діарею, рідко – геморагічну діарею, блювоту, анорексію, депресію, зневоднення, а у тяжких випадках – загибель цуценят [13].

У поросят, інвазованих *C. suis*, клінічні ознаки характеризувалися розвитком діареї. Водночас, інвазія призводила до порушення дозрівання корисних бактерій у кишечнику через два тижні після зараження. У калі інвазованих поросят спостерігався нижчий рівень кишкових бактерій *Fusobacteriaceae* та *Veillonellaceae* [14].

Є повідомлення, у яких зазначається, що цистоізоспоро́з у собак проявлявся еозинофільним ентеритом [15]. Водночас, інші дослідники не спостерігали ознак еозинофілії в гематологічному профілі хворих собак. Аналіз хімічного складу крові показав, що концентрація загального білка та натрію була дещо нижчою за норму, що пов'язано із симптомами у інвазованих собак, а саме блюванням та діареєю [16]. Разом з тим, у доступній літературі вкрай обмаль повідомлень щодо особливостей впливу цистоізоспор на організм інвазованих котів і клінічних проявів цієї інвазії.

Мета дослідження

Мета досліджень – встановити особливості клінічного прояву за гострого перебігу цистоізоспоро́зу в котів.

Матеріали і методи

Дослідження проводилися впродовж 2025 р. на базі лабораторії кафедри паразитології та ветеринарно-санітарної експертизи Полтавського державного аграрного університету та в умовах приватної ветеринарної клініки «ЗооЛюкс» (м. Київ).

З метою дослідження клінічних симптомів за цистоізоспоро́зної інвазії було сформовано дослідну групу котів віком 2 міс – 6 міс ($n=28$) з показниками інтенсивності інвазії > 500 ооцист/г. Гельмінтооовоскопію проб проводили за загальноприйнятою методикою [17].

Враховували виявлені симптоми, які були незначно виражені та виражені значною мірою, що зазначали у %.

Результати та їх обговорення

Проведеними дослідженнями за значних показників інтенсивності цистоізоспоро́зної інвазії у кошенят всього виявлено 12 клінічних симптомів, які були виражені незначною мірою (**рис. 1**).

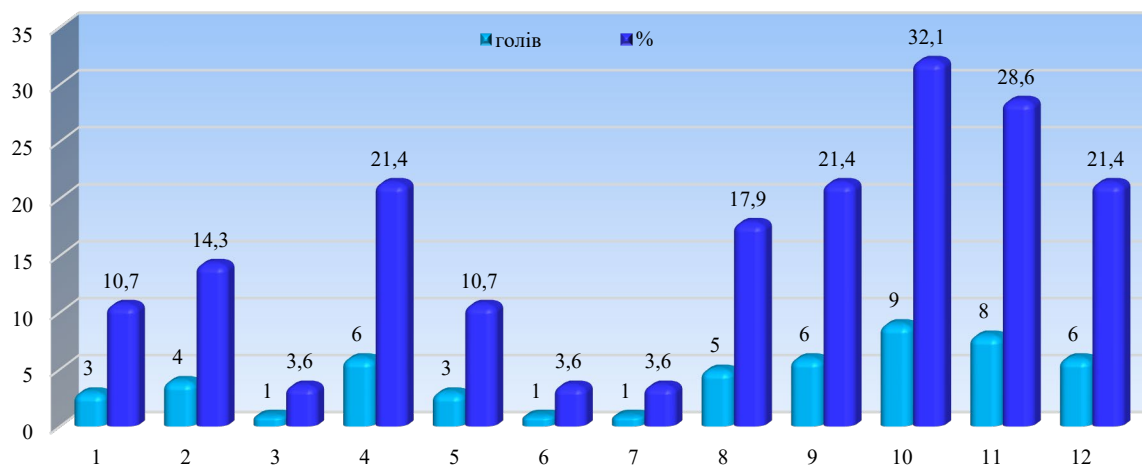


Рис. 1. Клінічні ознаки, що виражені незначною мірою, за цистоізоспоро́зної інвазії котів (%):

1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерсті, 3 – пригнічення, 4 – виснаження, 5 – зневоднення, 6 – зниження апетиту, 7 – відмова від корму, 8 – спрага, 9 – блювання, 10 – здуття черева, 11 – болочистість черевної стінки при пальпації, 12 – діарея

Так, анемічність слизових оболонок виявляли у 10,7 % інвазованих тварин, тьмяність шерсті – у 14,3 %, пригнічення – у 3,6 %, виснаження – у 21,4 %, зневоднення – у 10,7 %, зниження апетиту – у 3,6 %, відмову від корму – у 3,6 %, спрагу – у 17,9 %,

блювання – у 21,4 %, здуття черева – у 32,1 %, болочість черевної стінки при пальпації – у 28,6 %, діарею – у 21,4 %.

Одночасно виявлено, також, 12 клінічних симптомів, які були виражені значною мірою (**рис. 2**).

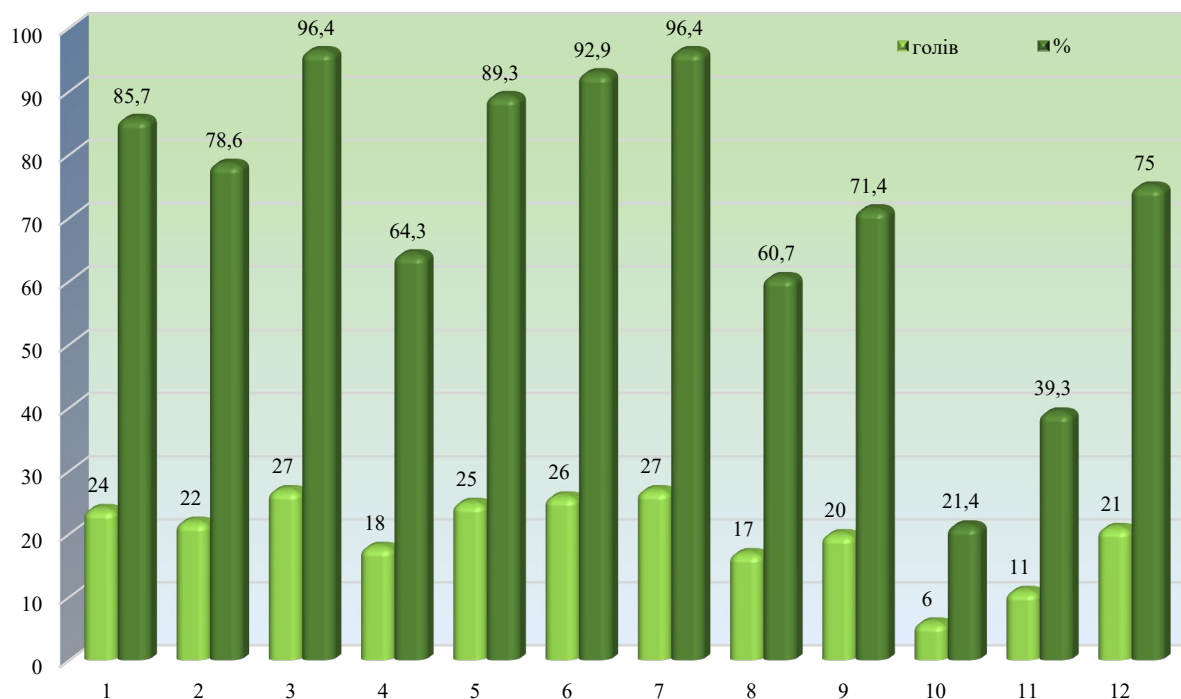


Рис. 2. Клінічні ознаки, що виражені значною мірою, за цистоіспороозної інвазії котів (%):

1 – анемічність видимих слизових оболонок, 2 – тьмяність шерсті, 3 – пригнічення, 4 – виснаження, 5 – зневоднення, 6 – зниження апетиту, 7 – відмова від корму, 8 – спрага, 9 – блювання, 10 – здуття черева, 11 – болочість черевної стінки при пальпації, 12 – діарея

Зокрема, анемічність слизових оболонок виявляли у 85,7 % інвазованих тварин, тьмяність шерсті – у 78,6 %, пригнічення – у 96,4 %, виснаження – у 64,3 %, зневоднення – у 89,3 %, зниження апетиту – у 92,9 %, відмову від корму – у 96,4 %, спрагу – у 60,7 %, блювання – у 71,4 %, здуття черева – у 21,4 %, болочість черевної стінки при пальпації – у 39,3 %, діарею – у 75,0 %.

Визначено, що консистенція фекалій мала різний характер. Найчастіше зареєстровано їх водянисту консистенцію (42,9 %), рідше – з домішками слизу (28,6 %) та крові (21,4 %). У 7,1 % інвазованих кошенят діарея супроводжувалася одночасною наявністю у фекальних масах слизу та крові (**табл. 1**).

Таблиця 1

Ознаки діареї у кошенят за показників цистоіспороозної інвазії з показником інтенсивності інвазії > 500 ооцист/г

Показник	Кількість випадків	% від тварин з діареєю (n=28)
Діарея водянистої консистенції	12	42,9
Діарея з домішками слизу	8	28,6
Діарея з домішками крові	6	21,4
Діарея з домішками слизу та крові	2	7,1

Паразитарні хвороби котів значно поширені в усьому світі. З-поміж них цистоіспорооз займає одне з провідних місць серед протозоозів. Хвороба завдає значної шкоди здоров'ю тварин, проявляючись діареєю, блюванням, відставанням у рості та розвитку молодняка, порушенням функції шлунково-кишкового тракту, в окремих випадках призводячи до загибелі тварини. Також інвазовані коти часто контамінують довкілля ооцистами паразитів, у яких вони дозрівають, і становлять небезпеку для інших тварин [18–20]. Тому, нами було встановлено особливості клінічного прояву цистоіспороозу у котів за високих показників інтенсивності інвазії.

Встановлено, що у інвазованих котів значною мірою проявлені такі клінічні ознаки як: пригнічення та відмова від корму (96,4 %), зниження апетиту (92,9 %), зневоднення (89,3 %), анемічність видимих слизових оболонок (85,7 %), тьмяність шерстного покриву (78,6 %), блювання (71,4 %), виснаження (64,3 %) та спрага (60,7 %). Виражені значною мірою ознаки здуття черева та болочість черевної стінки при її пальпації діагностовано у 21,4 та 39,3 % інвазованих цистоіспорами котів відповідно. Ознаки діареї виявлено у 100 % хворих на цистоіспорооз тварин, де консистенція фекалій мала різний характер. Найчастіше зареєстровано водя-

нисту консистенцію фекалій (42,9 %), рідше – з домішками слизу (28,6 %) та крові (21,4 %). У 7,1 % інвазованих котів діарея супроводжувалася одночасною наявністю у фекальних масах слизу та крові.

Є окремі повідомлення авторів, які з'ясували, що основним симптомом за цистоізо스포зу м'ясоїдних тварин, є діарея, яка призводить до зневоднення організму [21, 22].

Отримані результати досліджень дозволяють враховувати виявлені характерні клінічні ознаки під час проведення діагностування цистоізо스포зу котів з метою підвищення його ефективності.

Висновки

Встановлено, що гострий перебіг цистоізо스포зу у котів характеризується розладами травлення та різним проявом симптомів. Найбільш вираженими клінічними ознаками є пригнічення та відмова від корму (96,4 %), зниження апетиту (92,9 %), зневоднення (89,3 %), анемічність видимих слизових оболонок (85,7 %), тьмяність шерстного покриву (78,6 %), блювання (71,4 %), виснаження (64,3 %) та спрага (60,7 %). У 100 % інвазованих цистоізоспорами котів виявлено діарею, яка мала водянисту консистенцію з домішками слизу (28,5 %), крові (21,4 %) та їх одночасним вмістом (7,1 %).

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Експериментальна частина роботи виконувалася з дотриманням вимог чинного законодавства України щодо захисту тварин від жорстокого поводження та Директиви ЄС 2010/63/EU про захист тварин, що використовуються для наукових цілей. Під час проведення дослідів забезпечувалися належні зоогігієнічні умови утримання котів, збалансована годівля та мінімізація будь-яких стресових чи больових факторів.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Dubey, J. P. (2018). A review of *Cystoisospora felis* and *C. rivolta* - induced coccidiosis in cats. *Veterinary Parasitology*, 263, 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.09.016>
2. Dubey, J. P., & Frenkel, J. K. (1972). Extra-intestinal stages of *Isospora felis* and *I. rivolta* (Protozoa: Eimeriidae) in cats. *The Journal of Protozoology*, 19 (1), 89–92. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1972.tb03419.x>
3. Scorza, A. V., Tyrrell, P., Jablonski Wennogle, S. A., Chandrashekar, R., & Lappin, M. R. (2021). Experimental infection of cats with *Cystoisospora felis*. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 35 (1), 269–272. <https://doi.org/10.1111/jvim.16012>
4. Guzmán-Lara, M. D., Kruth, P. S., Rangel-Díaz, J., Juárez-Estrada, M. A., Soriano-Vargas, E., & Barta, J. R. (2020). *Cystoisospora felis* infection in a captive jaguar cub (*Panthera onca*) in Michoacán, México. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 19, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100371>
5. Mehlhorn, H., & Markus, M. B. (1976). Electron microscopy of stages of *Isospora felis* of the cat in the mesenteric lymph node of the mouse. *Zeitschrift für Parasitenkunde*, 51 (1), 15–24. <https://doi.org/10.1007/bf00380524>
6. Lindsay, D. S. (2019). *Cystoisospora* species insights from development in vitro. *Frontiers in Veterinary Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00335>
7. Lindsay, D. S., Houk, A. E., Mitchell, S. M., & Dubey, J. P. (2014). Developmental biology of *Cystoisospora* (Apicomplexa: Sarcocystidae) monozoic tissue cysts. *Journal of Parasitology*, 100 (4), 392–398. <https://doi.org/10.1645/13-494.1>
8. Ferguson, D. J. P., Birch-Andersen, A., Hutchinson, W. M., & Siim, J. C. (1980). Ultrastructural observations showing enteric multiplication of *Cystoisospora (Isospora) felis* by Endodyogeny. *Zeitschrift für Parasitenkunde Parasitology Research*, 63 (3), 289–291. <https://doi.org/10.1007/bf00931992>
9. da Costa, P. S., Munhoz, A. D., Flausino, W., & Lopes, C. W. (2006). Alterações clínicas observadas em coelhos, tipo carne, infectados experimentalmente com *Cystoisospora felis* (Wenyon, 1923) Frenkel, 1977 (Apicomplexa: Cystoisosporinae) [Clinical findings observed in rabbits, meat type, infected experimentally by *Cystoisospora felis* (Wenyon, 1923) Frenkel, 1977 (Apicomplexa: Cystoisosporinae)]. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 15 (2), 80–84.
10. Dubey, J. P. (2014). Life cycle of *Cystoisospora felis* (Coccidia: Apicomplexa) in cats and mice. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 61 (6), 637–643. <https://doi.org/10.1111/jeu.12145>
11. Lepp, D. L., & Todd, K. S. (1974). Life cycle of *Isospora canis* Nemeséri, 1959 in the dog. *The Journal of Protozoology*, 21 (2), 199–206. <https://doi.org/10.1111/j.1550-7408.1974.tb03641.x>
12. Lappin, M. R. (2010). Update on the diagnosis and management of *Isospora* spp infections in dogs and cats. *Topics in Companion Animal Medicine*, 25 (3), 133–135. <https://doi.org/10.1053/j.tcam.2010.07.001>
13. Garanayak, N., Gupta, A. R., & Patra, R. C. (2016). Successful therapeutic management of canine Isosporosis in puppies. *Journal of Parasitic Diseases*, 41 (1), 48–50. <https://doi.org/10.1007/s12639-015-0747-0>
14. Shrestha, A., Metzler-Zebeli, B. U., Karemba, H., Sperling, D., & Joachim, A. (2020). The fecal microbiota evolves differently in piglets experimentally infected with *Cystoisospora suis* that are treated with toltrazuril (Version 1) [Preprint]. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.2.22641/v1>
15. Hechenbleikner, E., & McQuade, J. (2015). Parasitic colitis. *Clinics in Colon and Rectal Surgery*, 28 (02), 079–086. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1547335>
16. Lee, S., Kim, J., Cheon, D.-S., Moon, E.-A., Seo, D. J., Jung, S., Shin, H., & Choi, C. (2018). Identification of *Cystoisospora ohioensis* in a diarrheal dog in Korea. *The Korean Journal of Parasitology*, 56 (4), 371–374. <https://doi.org/10.3347/kjp.2018.56.4.371>
17. Suvorov, R., & Melnychuk, V. (2024). Efficiency of the improved method of laboratory diagnostics of canine cystoisosporosis. *Scientific Progress & Innovations*, 27 (4), 176–180. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.04.30>

18. Junker, K., & Houwers, D. J. (2000). Diarree, pupsterfte en *Cystoisospora*-species (coccidiose) [Diarrhea, pup mortality and *Cystoisospora* species (coccidiosis)]. *Tijdschrift voor Diergeneeskunde*, 125 (19), 582–584.
19. Matsubayashi, M., Carreno, R. A., Tani, H., Yoshiuchi, R., Kanai, T., Kimata, I., Uni, S., Furuya, M., & Sasai, K. (2011). Phylogenetic identification of *Cystoisospora* spp. from dogs, cats, and raccoon dogs in Japan. *Veterinary Parasitology*, 176 (2-3), 270–274. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2010.11.008>
20. Tejero, F., & Arcay-de-Peraza, L. (1982). *Cystoisospora felis*: initial penetrating ability into cell cultures from rat peritoneal exudate. *Acta Cientifica Venezolana*, 33 (4), 338–341.
21. Tuna, G. E., & Kirkulak, T. (2023). Diarrhea in cats infected with *Cystoisospora* spp. - evaluation of the Neutrophil-to-Lymphocyte ratio and Monocyte-to-Lymphocyte ratio. *Acta Scientiae Veterinariae*, 51. <https://doi.org/10.22456/1679-9216.128946>
22. Palmer, C. S., Thompson, R. C. A., Traub, R. J., Rees, R., & Robertson, I. D. (2008). National study of the gastrointestinal parasites of dogs and cats in Australia. *Veterinary Parasitology*, 151 (2-4), 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2007.10.015>

ORCID

V. Melnychuk 

<https://orcid.org/0000-0003-1927-1065>

Y. Hubskeyi 

<https://orcid.org/0009-0001-5308-2009>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Epizootiological patterns and age dynamics of protozoan infections in chickens under different production systems

M. Bogach¹ | O. Bohach² | L. Perots'ka¹ | N. Serdiuk¹

Article info

Correspondence Author
M. Bogach
E-mail:
bogach_nv@ukr.net¹ Odesa Research Station of the National Research Center «Institute of Experimental and Clinical Veterinary Medicine»,
2, Svobody Ave, Odesa, 65037, Ukraine² Institute of Animal Biology, NAAS of Ukraine,
38 Vasyl Stus St., Lviv, 79034, Ukraine**Citation:** Bogach, M., Bohach, O., Perots'ka, L., & Serdiuk, N. (2026). Epizootiological patterns and age dynamics of protozoan infections in chickens under different production systems. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 153–159. doi: 10.31210/spi2026.29.01.25

Under modern poultry production conditions, protozoan infections remain one of the leading causes of decreased productivity and impaired poultry health, necessitating their detailed epizootiological investigation. The aim of the study was to determine the prevalence and age-related dynamics of protozoan infections in chickens of different production types under the conditions of farms in the Odesa region. The study was conducted in farms with a floor housing system, where 398 dual-purpose (meat-and-egg) chickens and 506 layer chickens of different age groups (from 5 to over 151 days) were examined. Diagnostic procedures included microscopic examination of fecal samples using flotation techniques as well as native and stained smears. It was established that the overall prevalence of infection in layer chickens was 65.2 %, which exceeded that of dual-purpose chickens (50.3 %) by 14.9 %, confirming their higher susceptibility. A clear age-related pattern of protozoan infections was identified: in early life (5–21 days), the overall prevalence of infection was 43.3 % in dual-purpose birds and 72.1 % in layers, reaching peak values at 22–40 days of age – 57.0 % and 74.8 %, respectively. During these periods, coccidiosis and cryptosporidiosis predominated, reaching their maximum values at 22–40 days: coccidiosis affected 37.5 % of dual-purpose and 44.7 % of layer chickens, while cryptosporidiosis affected 13.9 % and 22.3 %, respectively, whereas their prevalence systematically decreased in older age groups (dropping to 7.0 % and 2.3 % in dual-purpose, and 9.7 % and 4.8 % in layer chickens aged 151 days and older). In contrast, an age-related increase in the prevalence of blastocystosis was observed, with minimum values recorded at 5–21 days of age (3.3 % and 6.7 %) and maximum values of 32.6 % in dual-purpose chickens and 41.9 % in layer chickens in the group aged 151 days and older, indicating its cumulative nature and capacity for prolonged persistence. Histomoniasis was not detected in young chicks up to 40 days of age but appeared after 40 days of age (specifically at 41–60 days with rates of 4.4 % for dual-purpose and 2.4 % for layer chickens) and persisted at a relatively low level thereafter, peaking at 7.8 % for dual-purpose and 3.6 % for layer chickens at 91–120 days. It was demonstrated that layer chickens are consistently characterized by higher susceptibility to all major protozoan infections across all age groups, remaining 11.4–28.8 % higher compared to dual-purpose chickens.

Keywords: chickens, protozoan infections, age dynamics, Eimeria, Cryptosporidium, Blastocystis, Histomonas.

Епізоотологічні особливості та вікова динаміка протозойних інвазій у курей різних напрямів продуктивності

М. В. Богач¹ | О. М. Богач² | Л. В. Перицька¹ | Н. П. Сердюк¹¹ Одеська дослідна станція Національного наукового центру «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини»,
м. Одеса, Україна² Інститут біології тварин НААН,
м. Львів, Україна

У сучасних умовах птицевництва протозойні інвазії залишаються однією з провідних причин зниження продуктивності та погіршення здоров'я птиці, що зумовлює необхідність їх детального епізоотологічного вивчення. Метою дослідження було встановити поширеність та вікову динаміку протозойних інвазій у курей різних напрямів продуктивності в умовах господарств Одеської області. Дослідження проводили у фермерських господарствах із підлоговою системою утримання, де загалом було обстежено 398 курей м'ясо-яєчного та 506 курей яєчного напрямів продуктивності різних вікових груп (від 5 до 150 днів і старше). Для діагностики використовували мікроскопічні методи дослідження посліду, включаючи флотатійний метод та виготовлення нативних і забарвлених мазків. Встановлено, що загальний рівень інвазованості курей яєчного напрямку становив 65,2 %, що на 14,9 % перевищувало аналогічний показник у курей м'ясо-яєчного напрямку (50,3 %), підтверджуючи їхню більшу сприйнятливості. Виявлено чітку вікову динаміку протозоозів, відповідно до якої у ранньому віці (5–21 доба) загальна інвазованість складала 43,3 % у м'ясо-яєчної птиці та 72,1 % у яєчної, досягаючи пікових значень у віці 22–40 днів – 57,0 % та 74,8 % відповідно. У ці періоди домінували еймеріоз та криптоспоридіоз, рівень яких досягав максимуму у віці 22–40 днів: еймеріями було уражено 37,5 % курей м'ясо-яєчного та 44,7 % яєчного напрямів, а криптоспоридіями – 13,9 % та 22,3 % відповідно, тоді як у старших вікових групах їх поширеність планомірно знижувалася (до 7,0 % та 2,3 % у м'ясо-яєчних і 9,7 % та 4,8 % у яєчних курей віком понад 151 добу). Натомість встановлено зростання частоти бластоцистозу з віком, мінімальні показники якого реєстрували у віці 5–21 доби (3,3 % та 6,7 %), а максимальні значення становили 32,6 % у курей м'ясо-яєчного та 41,9 % у курей яєчного напрямку у групі 151 доба і старше, що свідчить про його накопичувальний характер та здатність до персистування. Гістомоніоз у курчат раннього віку до 40 днів не реєстрували, однак його поява відмічалася у віці 41–60 днів із показниками 4,4 % для м'ясо-яєчних і 2,4 % для яєчних курей, із подальшим утриманням на стабільно низькому рівні (пік у 7,8 % для м'ясо-яєчних та 3,6 % для яєчних у віці 91–120 днів). Доведено, що кури яєчного напрямку продуктивності характеризуються стабільно вищим рівнем ураженості всіма основними протозоозами в усіх вікових групах (на 11,4–28,8 % вище порівняно з м'ясо-яєчними).

Ключові слова: кури, поширеність, вікова динаміка, криптоспоридіоз, еймеріоз, бластоцистоз, гістомоніоз.**Бібліографічний опис для цитування:** Богач М. В., Богач О. М., Перицька Л. В., Сердюк Н. П. Епізоотологічні особливості та вікова динаміка протозойних інвазій у курей різних напрямів продуктивності. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 153–159.

Вступ

У сучасних умовах птахівництва протозойні інвазії (криптоспоридіоз, еймеріоз, бластоцистоз, гістомоноз тощо) мають значне поширення як у промислових, так і в присадибних господарствах. Вони призводять до зниження продуктивності птиці, погіршення її фізіологічного стану та можуть виступати фактором ризику для зоонозного інфікування людини [1–4].

Враховуючи значущість паразитарних захворювань для багатьох країн світу, Всесвітня організація охорони здоров'я спільно з міжнародними партнерами (FAO, OIE) розробила стратегічні підходи до контролю занедбаних зоонозних інфекцій, у тому числі паразитарної етіології, спрямовані на зниження їх поширення та соціально-економічного впливу [5].

На сучасному етапі розвитку екологічної паразитології одним із ключових завдань є з'ясування закономірностей циркуляції збудників протозоозів у навколишньому середовищі [6]. Це передбачає проведення комплексних епізоотологічних досліджень з метою визначення джерел інвазії, шляхів передачі та основних факторів, що сприяють поширенню протозойних захворювань птиці на території України [7].

Кишкові захворювання птиці залишаються однією з провідних проблем сучасного птахівництва, оскільки вони спричиняють значні економічні збитки, зумовлені зниженням продуктивності, погіршенням конверсії корму та підвищенням рівня смертності поголів'я. Водночас такі патології негативно впливають на фізіологічний стан і добробут птиці, порушуючи функціонування травної системи та імунного гомеостазу. Особливу небезпеку становить можливість контамінації продукції птахівництва збудниками інфекцій і інвазій, що підвищує ризики для здоров'я людини та актуалізує питання біобезпеки і контролю якості харчових продуктів [8].

Криптоспоридіоз є соціально та економічно значущою протозойною інвазією, збудниками якої виступають представники роду *Cryptosporidium*, здатні уражати людину та широкий спектр хребетних тварин, включаючи птицю, і мають глобальне поширення. Передача інфекції здійснюється переважно фекально-оральним шляхом – при безпосередньому контакті з інвазованими організмами, а також через контаміновані корми і воду, що зумовлює розвиток патологічних змін у шлунково-кишковому тракті птиці. Клінічні прояви криптоспоридіозу можуть варіювати і включати як ентеричні, так і респіраторні форми захворювання [2]. За умов формування ефективної імунної відповіді організму перебіг інвазії інколи має тенденцію до самовиліковування [9].

Поряд із цим, еймеріоз залишається одним із найпоширеніших і найбільш економічно значущих протозойних захворювань у птахівництві. Незважаючи на досягнення у сфері годівлі, селекції, менеджменту та імунопрофілактики, інвазії, спричинені *Eimeria* spp., і надалі зумовлюють суттєві виробничі втрати. Захворювання реєструється у різних видів птиці та характеризується варіабельністю клінічного перебігу – від субклінічних форм до тяжких уражень, що залежить від вірулентності збудника та інвазійної

доза ооцист. Особливої актуальності проблема набуває в умовах альтернативних систем утримання, зокрема під час вільного виходу, де ризик інвазії значно зростає, що створює додаткові виклики для сучасного птахівництва [10].

Blastocystis spp. є поширеним кишковим найпростішим паразитом, який широко реєструється у людини та різних видів тварин, включаючи свійську птицю, у всьому світі. Його циркуляція в популяціях дефінітивних хазяїв зумовлює можливість міжвидової передачі та свідчить про потенційний зоонозний характер бластоцистозу [11].

Гістомоноз (*histomoniasis*, blackhead) у курей упродовж останніх років знову набуває актуальності, що пов'язано з обмеженням використання ефективних хіміотерапевтичних засобів у країнах ЄС та США. У курей, зокрема бройлерів і м'ясних несучок, захворювання зазвичай перебігає менш гостро, ніж у індиків, водночас інвазія призводить до зниження продуктивних показників. Крім того, гістомоноз часто перебігає у складі асоційованих інфекцій, що ускладнює його діагностику та контроль у господарствах [12].

Таким чином, протозойні інвазії птиці характеризуються значною поширеністю, складною епізоотологічною структурою та вираженою віковою динамікою, що зумовлює необхідність їх систематичного моніторингу й поглибленого вивчення в умовах конкретних господарств.

Мета дослідження

Метою дослідження було вивчити поширеність та вікову динаміку протозойних інвазій (криптоспоридіозу, еймеріозу, бластоцистозу та гістомонозу) у курей різних напрямів продуктивності в умовах господарств Одеської області.

Матеріали і методи

Дослідження проводили у спеціалізованих фермерських господарствах СВК «Вікторія» (Кілійський район) та ФОП «Манько» (Роздільнянський район) Одеської області, в яких застосовують підлогову систему утримання птиці. Утримання курей здійснювали у пташниках із дотриманням зоогігієнічних норм, з використанням глибокої підстилки. Годівля птиці була збалансованою та відповідала фізіологічним потребам курей різного віку. Основою раціону був повнораціонний гранульований комбікорм.

Всього було досліджено 904 курей різних напрямів продуктивності та вікових груп, з яких 398 голів – м'ясо-яєчного напрямку (Spanish Naked Neck, Rhode Island Red) та 506 голів – яєчного напрямку продуктивності (Lohmann Brown). Зразки посліду відбирали безпосередньо з підлоги пташника за допомогою шпателя, дотримуючись правил асептики. Після кожного відбору інструмент ретельно промивали й дезінфікували. Кожен зразок поміщали у стерильні контейнери та маркували із зазначенням дати відбору, віку птиці та напрямку продуктивності.

Для діагностики криптоспоридіозу використовували зразки свіжого посліду інвазованої птиці. Отриманий матеріал піддавали центрифугуванню протягом 5 хв при швидкості 3000 об/хв, після чого готували нативні мазки за загальноприйнятою методикою. Мазки фіксували у розчині сульфату цинку (ZnSO₄) протягом 2–3 хв (5 г хлориду натрію та 5 г сульфату цинку розчиняли у дистильованій воді до об'єму 10 мл), після чого фарбували за методом Романовського-Гімзи та досліджували мікроскопічно.

Для діагностики еймеріозу дослідження посліду проводили за допомогою стандартизованого флотацийного методу Фюлеборна. Мікроскопію здійснювали за малого збільшення мікроскопа (об'єктив ×8, окуляр ×10).

Для виявлення *Blastocystis* spp. та морфологічно сумісних із *Histomonas meleagridis* найпростіших застосовували мікроскопічне дослідження нативних і забарвлених мазків. Зразки свіжого посліду наносили на чисті знежирені предметні скельця з подальшим

виготовленням мазків. Препарати фіксували в етиловому спирті протягом 5–10 хв, після чого фарбували за методом Романовського-Гімзи. Мікроскопію проводили при збільшенні ×630 (об'єктив ×90, окуляр ×7). *Blastocystis* spp. ідентифікували за наявністю округлих вакуолярних форм із великою центральною вакуолою, тонким периферичним шаром цитоплазми та ядерними структурами, розташованими по периферії клітини. Найпростіших, морфологічно сумісних із гістомонадами, виявляли за сукупністю цитоморфологічних ознак у забарвлених мазках. Діагностичну оцінку здійснювали з урахуванням клініко-епізоотологічних даних.

Результати та їх обговорення

У курей м'ясо-яєчного напрямку продуктивності загальний рівень інвазованості становив 50,3 % (табл. 1).

Таблиця 1

Ураженість курей м'ясо-яєчного напрямку продуктивності різного віку збудниками протозоозів (n=398), %

Вік птиці, дів	Досліджено, гол	Криптоспоридіоз	Еймеріоз	Бластоцистоз	Гістомоназ
5–21	60	18,3	21,7	3,3	0
22–40	72	13,9	37,5	5,6	0
41–60	68	8,8	26,5	11,8	4,4
61–90	58	6,9	17,2	19,0	5,2
91–120	51	3,9	11,8	25,5	7,8
121–150	46	4,3	8,7	28,3	6,5
151 і старше	43	2,3	7,0	32,6	4,7

Загальна інвазованість курей м'ясо-яєчного напрямку продуктивності у віці 5–21 доби становила 43,3 %, при цьому домінуючим збудником були еймерії (21,7 %). Поряд із цим реєстрували криптоспоридіоз (18,3 %) та поодинокі випадки бластоцистозу (3,3 %). Слід зазначити, що у курей цієї вікової групи гістомонад не виявляли, що узгоджується з особливостями біологічного циклу збудника та шляхами його передачі.

У курей віком 22–40 дів загальна інвазованість зростала до 57,0 %, що є максимальним показником серед досліджених вікових груп. Як і в попередній період, домінував еймеріоз (37,5 %), що зумовлено інтенсивним накопиченням інвазійного матеріалу в підстилці та високою сприйнятливістю молодняка. Рівень ураження криптоспоридіями дещо знижувався (13,9 %), тоді як бластоцистоз залишався на низькому рівні (5,6 %). Гістомоназ у цей період також не реєстрували.

У віці 41–60 дів загальна інвазованість зменшувалася до 51,5 %. Водночас відмічали подальше зниження частоти еймеріозу (до 26,5 %) та криптоспоридіозу (до 8,8 %), що пов'язано з формуванням часткового імунітету у птиці. Разом із тим, спостерігалось збільшення ураження бластоцистами (11,8 %), а також вперше реєстрували гістомоназ (4,4 %), що свідчить про поступове формування умов для реалізації циклу розвитку *H. meleagridis*.

У курей віком 61–90 дів загальна інвазованість становила 48,3 %. Характерною особливістю цього періоду було подальше зниження ураження

криптоспоридіями (6,9 %) та еймеріями (17,2 %) на тлі зростання частоти бластоцистозу (19,0 %) і гістомоназу (5,2 %).

У віковій групі 91–120 дів загальна інвазованість дещо зростала і становила 48,5 %. Підвищення цього показника відбувалося переважно за рахунок збільшення частки курей, уражених бластоцистами (25,5 %) та гістомонадами (7,8 %). Водночас рівень ураження криптоспоридіями та еймеріями продовжував знижуватися, що свідчить про стабілізацію імунної відповіді до цих збудників.

У курей віком 121–150 дів загальна інвазованість становила 47,8 %. Бластоцистоз у цей період зберігався на високому рівні (28,3 %), тоді як ураження криптоспоридіями (4,3 %), еймеріями (8,7 %) та гістомонадами (6,5 %) мали тенденцію до зниження. Така динаміка свідчить про перехід інвазій у хронічну форму з домінуванням умовно-патогенних протозойних агентів.

У курей віком 151 доба і старше загальна інвазованість зменшувалася до 46,6 %. Найвищий рівень ураження в цій віковій групі реєстрували для бластоцистозу (32,6 %), що підтверджує його накопичувальний характер і здатність до тривалого персистування в організмі птиці. Частота виявлення криптоспоридіозу (2,3 %), еймеріозу (7,0 %) та гістомоназу (4,7 %) залишалася відносно низькою.

Таким чином, встановлено чітку вікову динаміку протозойних інвазій у курей м'ясо-яєчного напрямку продуктивності, за якої у ранньому віці домінують криптоспоридіоз та еймеріоз, тоді як у подальшому

відбувається зниження їх поширеності на фоні зростання ролі бластоцистозу та появи гістомонозу.

У курей яєчного напрямку продуктивності показник загальної інвазованості був достовірно вищим і

становив 65,2 %, перевищуючи аналогічний показник у курей м'ясо-яєчного напрямку на 14,9 %, що свідчить про їхню більшу сприйнятливість до протозойних інвазій (табл. 2).

Таблиця 2

Ураженість курей яєчного напрямку продуктивності різного віку збудниками протозоозів (n=506), %

Вік птиці, діб	Досліджено, гол	Криптоспоридіоз	Еймеріоз	Бластоцистоз	Гістомоноз
5–21	75	26,7	38,7	6,7	0
22–40	103	22,3	44,7	7,8	0
41–60	84	14,3	29,8	16,7	2,4
61–90	72	9,7	26,4	23,6	4,2
91–120	56	7,1	17,9	32,1	3,6
121–150	54	5,6	14,8	38,9	1,9
151 і старше	62	4,8	9,7	41,9	1,6

Загальна інвазованість курей яєчного напрямку продуктивності у віці 5–21 доби становила 72,1 %, що суттєво перевищувало аналогічний показник у курей м'ясо-яєчного напрямку (43,3 %) на 28,8 %. У структурі інвазій домінував еймеріоз (38,7 %), що на 17,0 % більше, ніж у м'ясо-яєчних курей цього ж віку (21,7 %). Рівень ураження криптоспоридіями також був вищим і становив 26,7 %, що перевищувало відповідний показник на 8,4 %. Бластоцистоз реєстрували у 6,7 % курей, що на 3,4 % більше, тоді як у цій віковій групі гістомоноз не виявляли.

У курей віком 22–40 діб загальна інвазованість зростала до 74,8 %, що на 17,8 % більше, ніж у м'ясо-яєчних курей (57,0 %). Домінуючим залишався еймеріоз (44,7 %), рівень якого перевищував аналогічний показник на 7,2 %. Ураження криптоспоридіями (22,3 %) було вищим на 8,4 %, тоді як бластоцистоз (7,8 %) – на 2,2 %. Гістомоноз, як і в попередній віковій групі, не реєстрували.

У віці 41–60 діб загальна інвазованість становила 63,2 %, що на 11,7 % більше, ніж у курей м'ясо-яєчного напрямку (51,5 %). При цьому рівень ураження еймеріями (29,8 %) перевищував аналогічний показник на 3,3 %, криптоспоридіями (14,3 %) – на 5,5 %, а бластоцистами (16,7 %) – на 4,9 %. Гістомоноз реєстрували у 2,4 % курей, що, навпаки, було на 2,0 % менше, ніж у м'ясо-яєчних (4,4 %).

У курей віком 61–90 діб загальна інвазованість становила 63,9 %, що перевищувало аналогічний показник на 15,6 % (48,3 %). У цей період зберігалася вища ураженість усіма основними протозоозами: криптоспоридіозом (9,7 %) – на 2,8 % більше, еймеріозом (26,4 %) – на 9,2 % більше, бластоцистозом (23,6 %) – на 4,6 % більше. Водночас рівень гістомонозу (4,2 %) був дещо нижчим на 1,0 %, порівняно з м'ясо-яєчними курми (5,2 %).

У віковій групі 91–120 діб загальна інвазованість досягала 60,7 %, що на 12,2 % більше, ніж у м'ясо-яєчних курей (48,5 %). Найбільш суттєва різниця відмічалася щодо бластоцистозу – 32,1 % проти 25,5 %, тобто на 6,6 % більше. Рівень еймеріозу (17,9 %) перевищував аналогічний показник на 6,1 %, криптоспоридіозу (7,1 %) – на 3,2 %, тоді як гістомоноз (3,6 %) був нижчим на 4,2 %.

У курей віком 121–150 діб загальна інвазованість становила 61,2 %, що перевищувало показник у м'ясо-яєчних курей (47,8 %) на 13,4 %. Бластоцистоз

реєстрували у 38,9 % курей, що на 10,6 % більше, ніж у м'ясо-яєчних (28,3 %). Ураження еймеріями (14,8 %) було вищим на 6,1 %, криптоспоридіями (5,6 %) – на 1,3 %, тоді як гістомоноз (1,9 %) був нижчим на 4,6 %.

У курей віком 151 доба і старше загальна інвазованість становила 58,0 %, що перевищувало аналогічний показник у м'ясо-яєчних курей (46,6 %) на 11,4 %. Найвищий рівень ураження реєстрували для бластоцистозу (41,9 %), що на 9,3 % більше порівняно з м'ясо-яєчними курми (32,6 %). Рівень еймеріозу (9,7 %) перевищував відповідний показник на 2,7 %, криптоспоридіозу (4,8 %) – на 2,5 %, тоді як гістомоноз (1,6 %) залишався нижчим на 3,1 %.

Таким чином, встановлено, що кури яєчного напрямку продуктивності характеризуються стабільно вищим рівнем загальної інвазованості протозойними збудниками в усі вікові періоди (на 11,4–28,8 %). Найбільш виражені відмінності спостерігали у молодняка до 40 діб, де домінував еймеріоз, а також у дорослої птиці за рахунок значно вищого рівня бластоцистозу. Водночас гістомоноз у більшості вікових груп частіше реєстрували у курей м'ясо-яєчного напрямку.

Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників щодо широкого поширення протозойних інвазій у птиці та їх вираженої вікової динаміки. Аналіз літературних джерел свідчить, що рівень інвазованості та структура протозоозів значною мірою залежать від віку птиці, умов утримання та напрямку продуктивності [1, 2].

Щодо криптоспоридіозу встановлено, що інвазія має глобальне поширення та характеризується значною варіабельністю показників. Так, у Китаї (провінція Хубей) *Cryptosporidium baileyi* виявляли у 7,0 %, а *C. meleagridis* – у 3,2 % досліджених курей, при цьому молоді птахи (≤ 4 місяців) були більш інвазованими (15,1 %) порівняно зі старшими (> 4 місяців – 11,7 %) [13].

Аналогічні тенденції спостерігали і в інших регіонах Китаю (Сіньцзян), де загальна поширеність становила 11,5 %, у курей віком до 30 діб – 12,0 %, із максимальними значеннями у віці 30–60 діб (14,5 %) та подальшим зниженням до 3,4 % у птиці старше 90 діб [14].

У дослідженнях з Алжиру встановлено, що пік захворюваності припадає на період 10–50 діб із

максимумом у 31–40 діб (84,62 %), тоді як у курчат до 7 діб інвазію не реєстрували [15]. Водночас у Єгипті загальна поширеність криптоспоридіозу становила 6,6 %, однак серед бройлерів вона досягала 30,5 %, що значно перевищувало показники у птиці з інших систем утримання (14,4 %) [16].

Еймеріоз (кокцидіоз) залишається найбільш поширеним протозоозом птиці у світі. За даними Tomazic et al. (2025), загальна поширеність *Eimeria* spp. у посліді курей становить 85,1 %, досягаючи 100 % у бройлерів та 73,7–89,7 % у курей-несучок, при цьому коінвазії (63 %) реєструються частіше, ніж моноінвазії (38 %) [17].

Вікова динаміка еймеріозу має чітко виражений характер. Найвищі показники (48 %) відзначаються у віці 31–45 діб, тоді як у групі 0–15 діб вони становлять лише 6 % [18]. У Тунісі встановлено, що поширеність субклінічного кокцидіозу у курочок становила 12,5 %, що перевищувало показники у курей-несучок (3,5 %) та бройлерів (5 %). У системах вільного утримання рівень інвазії досягав 17,6 % до 10 тижнів, знижувався до 12,38 % у віці 10–20 тижнів і до 1,9 % у старшій птиці, тоді як у бройлерів він становив 12,54 % [19].

Подібні результати наведено у дослідженні Grigoryan et al. (2022), де у курчат віком до 14 днів рівень зараження становив 24 % за підлогового утримання та 15 % – за клітинного. У віці 14–45 днів цей показник зростав до 51 % і 36 % відповідно, тоді як у курчат 45–90 днів – знижувався до 27 % і 20 % [20]. Charman (2017) зазначає, що кокцидіоз найчастіше реєструється у віці 3–18 тижнів, незважаючи на наявність материнських антитіл, які не забезпечують достатнього захисту від інвазії [21].

Щодо породною належності, поширеність становила 18,3 % – у місцевих порід та 52,1 % – у екзотичних порід. До місцевих порід належали Chafe і Gebsuma (ячмінне забарвлення оперення), Horro, Jarso і Keyi (червоне забарвлення), Naked Neck і Netch (біле забарвлення), Teri і Tikur (чорне забарвлення) [22]. На птахофабриці Комболча максимальні показники інвазованості (73,1 %) відзначено у віці 91–100 діб, тоді як найнижчі (10,3 %) – у групі 21–30 діб. Найвищий рівень уражень зареєстровано у курей породи Koookook (62,1 %), однак статистично значущих відмінностей між породами не встановлено [23]. У Бангладеш загальна поширеність становила 13,78 %, з найвищими показниками у курей типу Sonali (21,47 %), далі – у курей-несучок (13,66 %) та бройлерів (8,37 %) [24].

Незважаючи на варіабельність показників залежно від умов утримання, віку та регіону, збудники роду *Eimeria* стабільно реєструються на всіх континентах, що підтверджує глобальний характер проблеми та необхідність постійного моніторингу [25].

Щодо бластоцистозу встановлено іншу вікову закономірність. Загальний рівень ураженості *Blastocystis* spp. становить близько 20,1 % у зразках посліду та до 69,8 % на рівні господарств. При цьому відзначено породну варіабельність, найвищі показники у курей Sanhuang (29,7 %), нижчі –

у Ма (22,4 %) та Венчан (18,2 %), тоді як у породи Grass інвазія становила лише 0,9 %. На відміну від криптоспоридіозу та еймеріозу, найвищі показники бластоцистозу реєструються у старших вікових групах, зокрема у птиці віком понад 80 діб – 30,5 %, у віці 40–80 діб – 22,9 %, тоді як у курчат до 40 діб цей показник становить лише 12,8 % [11].

У різних країнах показники суттєво варіюють, так у Бразилії поширеність *Blastocystis* spp. досягала 33,8 % [26], у Лівані – до 65 % на рівні господарств [27]. У Єгипті загальний рівень інвазованості становив 9,2 %, з максимальними значеннями у курей (17,0 %). Залежно від напряму продуктивності відмічено певні відмінності, зокрема у бройлерів рівень ураженості досягав 18,5 %, у курей-несучок – 13,6 %, тоді як у племінної птиці цей показник був значно нижчим і становив 5,9 % [28].

Гістомоноз у курей досліджений меншою мірою, однак наявні дані свідчать про його епізоотологічну значущість. У провінції Цзянсу (Китай) встановлено, що найбільш сприйнятливими є кури віком 2–3 місяців, тоді як у дорослої птиці захворювання реєструється значно рідше. Загальний рівень захворюваності становив 10–30 %, при цьому смертність не перевищувала 10 % [29].

Ряд дослідників розглядає кишкові протозойні інвазії птиці передусім як санітарно-гігієнічну проблему, ефективний контроль якої має ґрунтуватися на систематичному санітарно-паразитологічному моніторингу [30].

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить про наявність чітких закономірностей вікової динаміки протозойних інвазій у птиці, при цьому криптоспоридіоз і еймеріоз переважно реєструються у молодняку, тоді як бластоцистоз характеризується зростанням поширеності у старших вікових групах. Отримані нами результати повністю узгоджуються з цими закономірностями та підкреслюють необхідність урахування вікового фактора при розробці ефективних заходів контролю протозойних інвазій у птахівництві.

Висновки

Протозойні інвазії широко поширені серед курей різних напрямів продуктивності, при цьому загальний рівень інвазованості у птиці яєчного напрямку (65,2 %) достовірно перевищує аналогічний показник у курей м'ясо-яєчного напрямку (50,3 %) на 14,9 %.

Вікова динаміка протозойних інвазій залежить від напряму продуктивності птиці, при цьому у курей яєчного напрямку в усі вікові періоди реєструються вищі показники ураженості. У ранньому віці (до 40 діб) в обох групах домінують еймеріоз (до 37,5–44,7 %) та криптоспоридіоз (до 13,9–26,7 %).

Зі збільшенням віку птиці в обох напрямках продуктивності відбувається зниження поширеності криптоспоридіозу та еймеріозу на фоні зростання рівня бластоцистозу, який досягає максимальних значень у старших вікових групах (до 32,6 % у м'ясо-яєчних та до 41,9 % у яєчних курей).

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні впливу систем утримання птиці на епізоотологію протозоозів, зокрема їх поширеність, вікову динаміку та ефективність профілактичних заходів у різних технологічних умовах.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Експериментальна частина роботи виконувалася з дотриманням вимог чинного законодавства України щодо захисту тварин від жорстокого поводження та Директиви ЄС 2010/63/EU про захист тварин, що використовуються для наукових цілей. Під час проведення дослідів забезпечувалися належні зоогігієнічні умови утримання птиці, збалансована годівля та мінімізація будь-яких стресових чи больових факторів.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Badri, M., Olfatifar, M., Hayati, A., Bijani, B., Samimi, R., Abdoli, A., Nowak, O., Diaz, D., & Eslahi, A. V. (2024). The global prevalence and associated risk factors of *Eimeria* infection in domestic chickens: A systematic review and meta-analysis. *Veterinary Medicine and Science*, 10 (4), e1469. <https://doi.org/10.1002/vms3.1469>
2. Nakamura, A. A., & Meireles, M. V. (2015). Cryptosporidium infections in birds - a review. *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*, 24 (3), 253–267. <https://doi.org/10.1590/s1984-29612015063>
3. Scanlan, P. D., & Stensvold, C. R. (2013). Blastocystis: getting to grips with our guileful guest. *Trends in Parasitology*, 29 (11), 523–529. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2013.08.006>
4. Hauck, R., & Hafez, H. M. (2012). Experimental infections with the protozoan parasite *Histomonas meleagridis*: a review. *Parasitology Research*, 112 (1), 19–34. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-3190-5>
5. World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations, World Organisation for Animal Health, & Department for International Development. (2006). *The control of neglected zoonotic diseases: A route to poverty alleviation*. World Health Organization. <https://iris.who.int/handle/10665/43485>
6. Villa, T. G., Sánchez-Pérez, A., & Viñas, M. (2016). The biological fight against pathogenic bacteria and protozoa. In T. G. Villa & M. Viñas (Eds.), *New Weapons to Control Bacterial Growth* (pp. 509–556). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-28368-5_19
7. Bohach, M. V., & Bohach, D. M. (2016). Kyshkovi invazii indykiv ta yikh asotsiatsii u hospodarstvakh Pivdnia Ukrainy [Intestinal invasions of turkeys and their associations in farms of the South of Ukraine]. *Veterynarna Medytsyna*, 102, 346–348. https://www.jvm.kharkov.ua/sbornik/102/10_93.pdf [in Ukrainian]
8. Bohach, M. V., & Bohach, T. V. (2013). Problemnii parazytozy produktivnoi ptytsi, zasoby yikh khimioterapii ta profilaktyky [Problem parasitosis of productive poultry, means of their chemotherapy and prevention]. *Veterynarna Medytsyna*, 97, 374–376. http://jvm.kharkov.ua/sbornik/97/7_150.pdf [in Ukrainian]
9. Scott, T. R. (2004). Our current understanding of humoral immunity of poultry. *Poultry Science*, 83 (4), 574–579. <https://doi.org/10.1093/ps/83.4.574>
10. Sharma, M. K., & Kim, W. K. (2024). Coccidiosis in egg-laying hens and potential nutritional strategies to modulate performance, gut health, and immune response. *Animals*, 14 (7), 1015. <https://doi.org/10.3390/ani14071015>
11. Liu, X., Ni, F., Li, J., Wang, R., Yang, X., Ge, Y., Zhang, L., & Qi, M. (2022). Research note: Prevalence and zoonotic concern of Blastocystis in farmed chickens in southern China. *Poultry Science*, 101 (12), 102182. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102182>
12. Dolka, B., Żbikowski, A., Dolka, I., & Szeleszczuk, P. (2015). Histomonosis - an existing problem in chicken flocks in Poland. *Veterinary Research Communications*, 39 (3), 189–195. <https://doi.org/10.1007/s11259-015-9637-2>
13. Liao, C., Wang, T., Koehler, A. V., Fan, Y., Hu, M., & Gasser, R. B. (2018). Molecular investigation of *Cryptosporidium* in farmed chickens in Hubei Province, China, identifies 'zoonotic' subtypes of *C. meleagridis*. *Parasites & Vectors*, 11 (1), 484. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-3056-5>
14. Feng, X., Xin, L., Yu, F., Song, X., Zhang, J., Deng, J., Qi, M., & Zhao, W. (2022). Genetic characterization of *Cryptosporidium* spp. in Hotan Black Chickens in China reveals two novel subtypes of *Cryptosporidium meleagridis*. *Parasite*, 29, 50. <https://doi.org/10.1051/parasite/2022051>
15. Guechtouli, S., Mimoun, N., Messai, C.-R., Salhi, O., Kaidi, R., & Khelef, D. (2021). Infekcija s *Cryptosporidium* sp. u tovnih pilića i purana na nekim farmama na središnjem sjeveru Alžira. *Veterinarska Stanica*, 53 (4), 403–418. <https://doi.org/10.46419/vs.53.4.5>
16. Essam, A., Elmishmishy, B., Hammad, E., Elwafa, S. A., & Abbas, I. (2025). Occurrence and molecular characterization of *Cryptosporidium* oocysts in chickens from Egypt, and a meta-analysis for *Cryptosporidium* infections in chickens worldwide. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 57, 101169. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2024.101169>
17. Tomazic, M. L., Britez, J. D., Pisón-Martínez, M. L., Barbano, P., Canet, Z., Tragoni, M. D., Poklepovich, T. J., Cubas, F., Alegría-Morán, R., Ramírez-Tolosa, G., & Rodríguez, A. E. (2025). Chicken coccidiosis in peri-urban family farming in two South American countries: Prevalence and circulating *Eimeria* spp. *Animals*, 15 (7), 982. <https://doi.org/10.3390/ani15070982>
18. Adhikari, A., Gupta, R., & Pant, G. R. (2009). Prevalence and Identification of coccidian parasite (*Eimeria* spp) in layer chicken of Ratnagar municipality, Chitwan district, Nepal. *Journal of Natural History Museum*, 23, 45–50. <https://doi.org/10.3126/jnhm.v23i0.1838>
19. Kaboudi, K., Umar, S., & Munir, M. T. (2016). Prevalence of coccidiosis in free-range chicken in Sidi Thabet, Tunisia. *Scientifica*, 2016, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2016/7075195>
20. Grigoryan, V. V., Hakobyan, A. R., Yeribekyan, S. V., & Grigoryan, L. H. (2022). Some epizootological peculiarities of chicken eimeriosis in the small poultry farms. *AgriScience and Technology*, 78(2), 162–165. <https://doi.org/10.52276/25792822-2022.2-162>
21. Chapman, H. D. (2017). Coccidiosis in egg laying poultry. In P. Hester (Ed.), *Egg Innovations and strategies for improvements* (pp. 571–579). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00053-6>
22. Adem, D., & Ame, M. (2023). Prevalence of poultry coccidiosis and associated risk factors in Haramaya District, Ethiopia. *Veterinary Medicine – Open Journal*, 8 (1), 22–27. <https://doi.org/10.17140/vmoj-8-172>
23. Bereket, M., & Abdu, A. (2015). Epidemiological study on poultry coccidiosis: Prevalence, species identification and post mortem lesions in grower chicken in Kombolcha, North-Eastern Ethiopia. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*, 7 (1), 1–8. <https://doi.org/10.5897/jvmah2014.0347>

24. Islam, Md. S., Mir, D. A., Islam, S., Jahid, Md. A., Sumona, N. A., Swar, D. K., Akter, N., Zaman, S., Khatun, M. M., Islam, Md. A., Lovelu, Md. A., & Nazir, Md. E. (2025). Prevalence of coccidiosis in commercial chickens of Bangladesh: Species identification with age and seasonal associations. *World's Veterinary Journal*, 15 (3), 764–773. <https://doi.org/10.54203/scil.2025.wvj78>
25. Nguyen, B. T., Flores, R. A., Kim, T., & Min, W. (2026). Understanding Eimeria infection for the treatment and prevention of chicken coccidian parasites. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 16, 1756128. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2026.1756128>
26. Maloney, J. G., da Cunha, M. J. R., Molokin, A., Cury, M. C., & Santin, M. (2021). Next-generation sequencing reveals wide genetic diversity of *Blastocystis* subtypes in chickens including potentially zoonotic subtypes. *Parasitology Research*, 120 (6), 2219–2231. <https://doi.org/10.1007/s00436-021-07170-3>
27. Greige, S., El Safadi, D., Bécu, N., Gantois, N., Pereira, B., Chabé, M., Benamrouz-Vanneste, S., Certad, G., El Hage, R., Chemaly, M., Hamze, M., & Viscogliosi, E. (2018). Prevalence and subtype distribution of *Blastocystis* sp. isolates from poultry in Lebanon and evidence of zoonotic potential. *Parasites & Vectors*, 11 (1), 389. <https://doi.org/10.1186/s13071-018-2975-5>
28. Naguib, D., Gantois, N., Desramaut, J., Arafat, N., Even, G., Certad, G., Chabé, M., & Viscogliosi, E. (2022). Prevalence, subtype distribution and zoonotic significance of *Blastocystis* sp. isolates from poultry, cattle and pets in Northern Egypt. *Microorganisms*, 10 (11), 2259. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10112259>
29. Xu, J., Qu, C., Guo, P., Zhuo, Z., Liu, D., & Tao, J. (2018). Epidemic characteristics of clinical histomoniasis in chicken flocks in Eastern China. *Avian Diseases*, 62 (2), 189–194. <https://doi.org/10.1637/11792-122917-reg.1>
30. Talazadeh, F., Razijalali, M., & Manesh, M. (2024). Investigation of enteric parasites with a focus on zoonotic parasites in the feces of Galliformes. *Archives of Razi Institute*, 79 (2), 379–386. <https://doi.org/10.32592/ari.2024.79.2.379>

ORCID

- | | | |
|--------------|---|---|
| M. Bogach |  | https://orcid.org/0000-0002-2763-3663 |
| O. Bohach |  | https://orcid.org/0000-0001-5487-7033 |
| L. Perots'ka |  | https://orcid.org/0000-0002-2836-0943 |
| N. Serdiuk |  | https://orcid.org/0009-0009-5161-0961 |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Effects of green coffee bean extract supplementation on lipid profile and oxidative stress in female rabbits

S. I. Salih¹ | N. A. Alkafaji² | S. R. Al-Saedi¹ | R. F. Mousa¹

Article info

Correspondence Author

S. I. Salih

E-mail:

saba.ibrahim@uokerbala.edu.iq

¹ College of Veterinary Medicine, University of Kerbala, Karbala, 56001, Iraq² College of Agriculture, University of Kerbala, Karbala, 56001, Iraq**Citation:** Salih, S. I., Alkafaji, N. A., Al-Saedi, S. R., & Mousa, R. F. (2026). Effects of green coffee bean extract supplementation on lipid profile and oxidative stress in female rabbits. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 160–165. doi: 10.31210/spi2026.29.01.26

Green coffee bean extract (GCBE), derived from raw and unroasted coffee fruits, is a major dietary source of potent polyphenols, primarily chlorogenic acids (CGAs), which provide an array of pharmacological and health benefits due to their high natural antioxidant capacity. The aim of the paper is to determine the effect of feeding an aqueous extract of green coffee bean powder on the lipid profile, which includes total cholesterol (TC), high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), very low-density lipoprotein cholesterol (VLDL-C), and triacylglycerols (TAG), and also to study its effect on the antioxidant status (GSH, SOD, and MDA) in female rabbits. The investigation was conducted on twenty healthy female rabbits, aged 4–6 months and weighing approximately 1350–1500 g, which were randomly and equally allocated into two experimental groups: a control untreated group receiving a normal diet and water, and a treated group supplemented with the extract. The feeding experiment lasted for a period of two months, from December 1, 2024, to February 1, 2025. The obtained results revealed that GCBE treatment significantly improved the enzymatic and non-enzymatic antioxidant defense systems, as evidenced by a substantial increase of 42.94 % in glutathione (GSH) levels and a 57.72 % elevation in superoxide dismutase (SOD) activity ($p \leq 0.05$) in the green coffee extract-treated group compared to the control untreated group. Concurrently, a significant 17.40 % reduction in malondialdehyde (MDA) concentration ($p \leq 0.05$) was observed in the treated group, indicating a notable decrease in lipid peroxidation and systemic oxidative damage. On the other hand, regarding the serum lipid profile, GCBE consumption induced a remarkable 89.49 % increase ($p \leq 0.05$) in high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C) levels within the treated group compared to the control group, while the other atherogenic lipid parameters showed the exact opposite trend, with significant drops in total cholesterol by 30.48 %, triglycerides by 38.14 %, low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C) by 43.81 %, and very low-density lipoprotein cholesterol (VLDL-C) by 53.05 %. In conclusion, the administration of green coffee bean extract successfully mitigates oxidative stress, enhances antioxidant defense status, and optimizes healthy cholesterol levels, displaying robust hypolipidemic and anti-atherogenic potential in the female rabbit model.

Keywords: Green coffee, oxidative stress, lipid profile.

Вплив застосування екстракту зелених кавових зерен на ліпідний профіль та оксидативний стрес у самок кролів

С. І. Саліх¹ | Н. А. Алькафаджі² | С. Р. Аль-Саеді¹ | Р. Ф. Муса¹¹ Факультет ветеринарної медицини, Університет Кербелі, провінція Кербела, Ірак² Сільськогосподарський факультет, Університет Кербелі, провінція Кербела, Ірак

Екстракт зелених кавових зерен (ЕЗКЗ), отриманий із сирих і необсмажених плодів кави, є основним дієтичним джерелом потужних поліфенолів, переважно хлорогенових кислот, які забезпечують низку фармакологічних ефектів та переваг для здоров'я завдяки своїй високій природній антиоксидантній здатності. Метою цієї роботи є визначення впливу згодовування водного екстракту порошку зелених кавових зерен на ліпідний профіль, який включає загальний холестерин, холестерин ліпопротеїнів високої щільності, холестерин ліпопротеїнів низької щільності, холестерин ліпопротеїнів дуже низької щільності та триацилгліцероли, а також вивчення його впливу на антиоксидантний статус у самок кролів. Дослідження проводили на двадцяти здорових самках кролів віком 4–6 місяців і масою тіла приблизно 1350–1500 г, яких випадковим чином розділили на дві рівні експериментальні групи: контрольну необроблену групу, яка отримувала звичайний раціон і воду, та дослідну групу, раціон якої доповнювали екстрактом. Експеримент із годівлею тривав протягом двох місяців, з 1 грудня 2024 року по 1 лютого 2025 року. Отримані результати показали, що застосування ЕЗКЗ значно покращило ферментативну та неферментативну системи антиоксидантного захисту, про що свідчить істотне підвищення рівня глутатіону на 42,94 % та активності супероксиддисмутази на 57,72 % ($p \leq 0,05$) у групі, що отримувала екстракт зеленої кави, порівняно з контрольною групою. Одночасно у дослідній групі спостерігалось значне зниження концентрації малондіальдегіду на 17,40 % ($p \leq 0,05$) у порівнянні з контрольною групою, що вказує на помітне зменшення перекисного окиснення ліпідів та системного оксидативного пошкодження. З іншого боку, щодо ліпідного профілю сироватки крові, споживання ЕЗКЗ викликало значне підвищення рівня холестерину ліпопротеїнів високої щільності на 89,49 % ($p \leq 0,05$) у дослідній групі порівняно з контрольною групою, тоді як інші атерогенні ліпідні параметри демонстрували абсолютну протилежну тенденцію зі значним зниженням загального холестерину на 30,48 %, тригліцеридів на 38,14 %, холестерину ліпопротеїнів низької щільності на 43,81 % та холестерину ліпопротеїнів дуже низької щільності на 53,05 %. На завершення, введення екстракту зелених кавових зерен успішно знижує оксидативний стрес, підвищує статус антиоксидантного захисту та оптимізує рівень здорового холестерину, виявляючи потужний гіполіпідемічний та антиатерогенний потенціал на моделі самок кролів.

Ключові слова: зелена кави, оксидативний стрес, ліпідний профіль.**Бібліографічний опис для цитування:** Саліх С. І., Алькафаджі Н. А., Аль-Саеді С. Р., Муса Р. Ф. Вплив застосування екстракту зелених кавових зерен на ліпідний профіль та оксидативний стрес у самок кролів. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 160–165.

Introduction

Coffee is a major agricultural export product as well as one of the most important beverage crops in the world; it is the second-most commonly traded commodity in the world, following oil [1]. Green coffee refers to unroasted, raw and unprocessed coffee fruit [2]. Green coffee has previously been hypothesized to have good benefits on health [3].

The chemical structure of green coffee from different geographical origins is characterised by the presence of phenolic acids (caffeic acid and chlorogenic acids) and alkaloids (caffeine) [4]. Chlorogenic acids are esters of trans-cinnamic acids that are dramatically reduced in green coffees throughout the roasting process. Green coffee has the highest antioxidant activity (AA) and has been claimed to be the primary and natural source of antioxidants [5]. Its total antioxidant value ranges from 0.15–0.30 mg/g. Antioxidants are required for a variety of bioactivities in the human body. Many researchers indicated that coffee extracts displayed a variety of essential biological actions, including antiviral, antibacterial, antioxidant, anti-inflammatory, and free radical scavenging [6].

Green coffee beans have more chlorogenic acid than conventional roasted coffee beans, which offers several health benefits; decaffeinated coffee enriched with chlorogenic acid elevates a person's conduct and attention. CGA and related chemicals help to increase fat metabolism in the liver. It also alters lipid metabolism and glucose in both healthy individuals and those with genetically metabolic-related diseases [7–9].

Genetics, lifestyle, and diet all have an impact on one's lipid profile [10]. Despite being controllable, dyslipidemia is a leading risk factor for cardiovascular diseases like coronary heart disease and metabolic syndrome [11, 12]. Today, the initial and preventive treatment of dyslipidemia involves modifications to one's diet and lifestyle, as well as medication [13].

Green coffee bean extract is a supplement that is derived from fresh coffee beans that have not undergone fermentation or roasting. It is reported to provide several health benefits [14–16]. GCBE contains caffeine and chlorogenic acid, which may explain some of its therapeutic benefits [17]. The influence of GCBE supplementation on the lipid profile is still unclear. A recent clinical study found that GCBE supplementation reduced low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), serum total cholesterol (TC), and plasma free fatty acids in obese women [18]. In comparison, other studies have failed to show an improvement in lipid parameters measured in the blood after treatment with GCBE [19, 20].

Coffee is an excellent dietary source of antioxidants due to its high concentration of polyphenols known as chlorogenic acids, and its consumption has been linked to increased plasma antioxidant capacity [21]. Polyphenols are the most prevalent antioxidants in our diet [22]. Chlorogenic acids are found in many plants; chlorogenic acids are esters of cinnamic acids and quinic acid [23]. Green coffee beans are the principal sources of chlorogenic acids (CGAs), because a significant amount of

CGAs are lost during the roasting process of coffee [24]. The 5-caffeoylquinic acid is the most abundant CGA ester in the green coffee bean [25].

It has been reported that CGAs possess anti-inflammatory, anti-oxidative, anti-diabetes, anti-obesity, anti-hypertensive, and anti-lipidemic properties [26]. Many studies have shown that CGAs can reduce oxidative stress, as demonstrated by reducing malondialdehyde [27, 28] or concentrations of oxidized low-density lipoprotein [27, 29] and improving the overall antioxidant capability [30] of plasma [31].

The aim of the study

The aim of the paper is to determine the effect of feeding an aqueous extract of green coffee bean powder on the lipid profile, which includes total cholesterol, high-density lipoprotein cholesterol, low-density lipoprotein cholesterol, very low-density lipoprotein cholesterol, and triacylglycerols, and also to study its effect on the antioxidant status in female rabbits.

Materials and methods

Animal of the Study

The investigation was conducted over a two-month period, beginning on December 1, 2024, and ending on February 1, 2025. Twenty female rabbits (weighing approximately 1350–1500 g) were housed in the animal house at the Faculty of Veterinary Medicine, University of Kerbala. The environmental conditions were maintained at 22–24 °C with a 12-hour light/dark cycle. The rabbits were acclimatized in the animal house for two weeks before the beginning of the research. The animals were fed a diet of freshly prepared food pellets and vegetables obtained from local markets, with water provided ad libitum.

Materials and Green Coffee Extract Preparation

The green coffee utilized in the experiment originated from Brazil. To prepare the aqueous solutions, the beans were ground into a fine powder using an electrical mixer. The obtained powder was extracted using water at 70 °C for 20 minutes, in accordance with the traditional Arabian method of preparing coffee. After that, the extract was filtered and lyophilized to remove any remaining traces of water. The ultimate physical form of the extract was a green powder. The extract was designated as green coffee water extract (GCWE) and was dissolved in distilled water at a concentration of 100 mg/ml [32].

Experimental Design

Twenty female rabbits were randomly allocated into two equal groups (10 rabbits each). Group 1 served as the control group, receiving only a normal diet and water, whereas Group 2 received the normal diet and water supplemented with the green coffee extract. The experiment lasted for two months. At the end of the experimental period, blood samples were gathered without sacrificing the animals via cardiac puncture.

Blood Collection

The animals were anesthetized with intramuscular injections of ketamine (90 mg/kg) and xylazine (40 mg/kg). Blood samples were collected after two months of the experiment using a 5 ml disposable syringe. The samples were placed in serum tubes for 30 minutes before undergoing centrifugation at 3000 rpm for 10 minutes. The separated serum was then transferred to Eppendorf tubes and stored frozen at -20 °C until biochemical examinations were performed. The tubes were stored at 4 °C until they were subjected to biochemical analysis.

Statistical Analysis

The data were statistically evaluated using an independent two-sample t-test with a computer-based statistical program (SPSS, version 22 for Windows). P-values < 0.05 were considered to indicate statistically significant differences.

Results and discussion

Lipid profile results

The assessment of the serum lipid profile parameters in female rabbits after a two-month experimental period revealed notable changes following the administration of green coffee bean extract, as summarized in *Table 1*.

Table 1

Effect of green coffee bean extract (GCBE) on the serum lipid profile of female rabbits (Mean $\pm$ S.D., n = 10)

Parameter, mg/dl	Control Group	GCBE-Treated Group
Total Cholesterol	79.83 $\pm$ 6.94	55.50 $\pm$ 11.05*
Serum Triglycerides	98.33 $\pm$ 6.80	60.83 $\pm$ 8.18*
HDL Cholesterol	8.47 $\pm$ 1.69	16.05 $\pm$ 2.55*
LDL Cholesterol	40.33 $\pm$ 8.01	22.66 $\pm$ 3.66*
Very Low Density Lipoprotein	18.38 $\pm$ 6.00	8.63 $\pm$ 2.36*

Note: Asterisks (*) indicate statistically significant differences compared with the control group (p $\leq$ 0.05).

In this investigation, we found that GCBE treatment decreased total serum cholesterol, triglycerides, LDL cholesterol, and VLDL-cholesterol levels significantly in the GCBE-treated group when compared with the control untreated group. Specifically, the administration of green coffee bean extract led to a substantial reduction in total cholesterol by 30.48 % and serum triglycerides by 38.14 %. The most pronounced hypolipidemic effects were observed in the atherogenic lipoprotein fractions, where LDL cholesterol and VLDL-cholesterol levels dropped by 43.81 % and 53.05 %, respectively. Conversely, the level of anti-atherogenic HDL-cholesterol increased significantly in the GCBE group, showing a remarkable elevation of 89.49 % when compared with the control untreated group. These percentage alterations demonstrate that GCBE supplementation exerts a robust modulating effect on lipid metabolism, shifting the lipid profile toward a significantly less atherogenic state.

Oxidative stress results

The evaluation of oxidative stress biomarkers and antioxidant enzyme activities in female rabbits after a

two-month experimental period demonstrated significant alterations following the administration of green coffee bean extract, as summarized in *Table 2*.

Table 2

Effect of green coffee bean extract (GCBE) on the serum oxidative stress parameters of female rabbits (Mean $\pm$ S.D., n = 10)

Parameter, Units	Control Group	GCBE-Treated Group
GSH, μ g/l	5.10 $\pm$ 1.46	7.29 $\pm$ 1.13*
MDA, nmol/ml	26.21 $\pm$ 3.35	21.65 $\pm$ 2.89*
SOD, μ g/l	4.47 $\pm$ 1.15	7.05 $\pm$ 1.18*

Note: Asterisks (*) indicate statistically significant differences compared with the control group (p $\leq$ 0.05).

In this investigation, the results of oxidative stress showed a significant increase in GSH and SOD levels in the GCBE-treated group when compared with the control group, while the MDA results showed the opposite trend between the same groups. Specifically, GCBE administration enhanced the enzymatic antioxidant defense system, resulting in a 57.72 % elevation in SOD activity and a 42.94 % increase in non-enzymatic GSH levels. Concurrently, the treatment successfully mitigated lipid peroxidation, as evidenced by a significant 17.40 % reduction in serum MDA concentrations compared to the untreated control group. These percentage variations strongly indicate that green coffee bean extract possesses potent antioxidant capabilities, effectively scavenging free radicals and reducing systemic oxidative stress in experimental animals.

Antioxidant-rich meals have been shown to reduce blood cholesterol, triglyceride, and low-density lipoprotein levels [33]. In this research, we found that administering the green coffee bean extract to female rabbits reduced total serum cholesterol, triglycerides, low-density lipoprotein cholesterol (LDL-C), and very low-density lipoprotein cholesterol (VLDL-C) levels considerably when compared to the control untreated group. Green coffee bean extract (GCBE) contains chlorogenic acid (CGA), which is a strong antioxidant. Green coffee contains CGA as an active chemical that has been shown to increase metabolic rate [34], increase the oxidation of fatty acids [34, 35], and reduce hepatic triglycerides [36] and levels of total cholesterol [37]. Aside from CGA, coffee contains polyphenols that possess the ability to decrease visceral fat accumulation [38].

In this investigation, we also found that GCBE has a favorable influence on serum HDL levels. Serum HDL levels increased in the GCBE-treated groups compared to the control group. This outcome is consistent with a prior study by Salamat et al. (2018), which showed that GCBE supplementation caused a significant increase in HDL-C in adult men with dyslipidemia who took 800 mg/day of green coffee extract for 8 weeks [20]. However, this finding is in disagreement with Wan et al. (2013), where 28 days of green coffee extract intake at a dose of 40 mg/kg/day lowered high-density lipoprotein levels in male rats, an effect that may be explained by the regulation of PPAR- α expression in the liver [39].

The discrepancy between trials may be attributable to the preparation method of the administered coffee, which should be noted due to the differences in caffeine and phenolic content among coffee brews. The latter is attributed to the coffee-to-water ratio, brewing temperature, cup capacity, and degree of roasting [40]. These findings could also be clarified by the notion that CGA exclusively works through the pro-atherogenic pathway of cholesterol metabolism. Furthermore, a clinical study conducted on obese women between the ages of 20 and 45 showed that GCBE combined with a calorie-restricted diet had an effect on lipid metabolism by causing notable changes in blood levels of low-density lipoprotein, free fatty acids, and total cholesterol [18].

Additionally, Tanaka et al. (2009) found that green coffee bean extract contains a significant amount of chlorogenic acid, which reduces LDL-C, triglyceride, and total cholesterol levels in the liver and serum [41]. The effect of chlorogenic acid in lowering blood lipids is linked to preventing the liver's synthesis, transport, and intestinal absorption of lipids and cholesterol [42]. On the other hand, one of the metabolic effects of chlorogenic acid, present in green coffee, is the suppression of lipogenesis and the amplification of lipolysis [41].

Oxidative stress is usually quantified by comparing oxidative stress markers, such as glutathione (GSH), malondialdehyde (MDA), and superoxide dismutase (SOD), against the formation of free radicals; by monitoring these parameters, the level of oxidative stress in the body can be calculated. In the present study, levels of GSH (5.10 µg/l in control vs. 7.29 µg/l in treated) and SOD (4.47 µg/l in control vs. 7.05 µg/l in treated) were significantly ($p \leq 0.05$) increased in the GCBE-treated group compared to the control group, suggesting that the animals' antioxidant defense status had improved. Conversely, MDA levels were greater in the control group (26.21 nmol/ml) compared to the GCBE group (21.65 nmol/ml), indicating a decrease in lipid peroxidation and a reduction in systemic oxidative stress.

Scientists have become increasingly interested in polyphenol-rich foods because of their antioxidant qualities [43]. Polyphenols (natural compounds), which are present in fruits, vegetables, nuts, and plants, possess potent antioxidant properties and shield the body from oxidative damage. Thus, polyphenols act as therapeutic compounds against oxidative stress [44]. Chlorogenic acid (CGA) is a polyphenol often found in human foods, particularly green coffee beans. CGA promotes endogenous antioxidant mechanisms, which guard against and scavenge free radicals. By encouraging Nrf2 to translocate from the cytosol to the nucleus, it activates sets of antioxidant genes that protect cells from harm. Numerous studies have shown that in sophisticated animal models of a range of chronic and metabolic diseases, CGA supplementation improves the treatment of oxidative damage and free radical generation. Molecular simulations have provided evidence for chlorogenic acid's significant antioxidant action and hydrogen-donating characteristics [45].

Conclusions

Our findings revealed that green coffee bean extract (GCBE) significantly improves the serum lipid profile and reduces systemic oxidative stress levels in female rabbits ($p \leq 0.05$). Specifically, a two-month administration of GCBE led to a substantial reduction in atherogenic lipid fractions (total cholesterol, triglycerides, LDL-C, and VLDL-C) by 30.48–53.05 %, while remarkably elevating anti-atherogenic HDL-C levels by 89.49 %. Furthermore, the extract effectively enhanced the antioxidant defense system, increasing SOD and GSH levels by 57.72 % and 42.94 % respectively, and mitigated lipid peroxidation by decreasing MDA concentrations by 17.40 %. These results add robust scientific evidence supporting the therapeutic potential of GCBE to enhance metabolic health, successfully manage hyperlipidemia, and alleviate oxidative damage.

DECLARATIONS

Ethical Statement

All animal handling, maintenance, and experimental procedures involving female rabbits in this study were conducted in strict accordance with international ethical standards and veterinary-sanitary guidelines for the care and use of laboratory animals in scientific research.

This research was conducted under the official reference number UOK.VET.PH.2025.122 at the anatomical laboratory of the College of Veterinary Medicine, University of Kerbala, Iraq. All efforts were made to minimize animal suffering, and blood samples were collected via cardiac puncture under deep anesthesia without sacrificing the animals.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Conway, J. (2024). *Export volumes of coffee-producing countries*. Statista. <https://www.statista.com/statistics/268135/ranking-of-coffee-exporting-countries>
2. Mesas, A. E., Leon-Muñoz, L. M., Rodriguez-Artalejo, F., & Lopez-Garcia, E. (2011). The effect of coffee on blood pressure and cardiovascular disease in hypertensive individuals: a systematic review and meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 94 (4), 1113–1126. <https://doi.org/10.3945/ajcn.111.016667>
3. Lopez-Garcia, E., Orozco-Arbeláez, E., Leon-Muñoz, L. M., Guallar-Castillon, P., Graciani, A., Banegas, J. R., & Rodríguez-Artalejo, F. (2016). Habitual coffee consumption and 24-h blood pressure control in older adults with hypertension. *Clinical Nutrition*, 35 (6), 1457–1463. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.03.021>

4. Del Rio, D., Stalmach, A., Calani, L., & Crozier, A. (2010). Bioavailability of coffee chlorogenic acids and green tea flavan-3-ols. *Nutrients*, 2 (8), 820–833. <https://doi.org/10.3390/nu2080820>
5. Tolessa, K., D'heer, J., Duchateau, L., & Boeckx, P. (2016). Influence of growing altitude, shade and harvest period on quality and biochemical composition of Ethiopian specialty coffee. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(9), 2849–2857. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8114>
6. Bravo, J., Arbillaga, L., de Peña, M. P., & Cid, C. (2013). Antioxidant and genoprotective effects of spent coffee extracts in human cells. *Food and Chemical Toxicology*, 60, 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.08.002>
7. Farah, A., & Donangelo, C. M. (2006). Phenolic compounds in coffee. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18 (1), 23–36. <https://doi.org/10.1590/s1677-04202006000100003>
8. Dirks-Naylor, A. J. (2015). The benefits of coffee on skeletal muscle. *Life Sciences*, 143, 182–186. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2015.11.005>
9. Ho, L., Varghese, M., Wang, J., Zhao, W., Chen, F., Knable, L. A., Ferruzzi, M., & Pasinetti, G. M. (2012). Dietary supplementation with decaffeinated green coffee improves diet-induced insulin resistance and brain energy metabolism in mice. *Nutritional Neuroscience*, 15 (1), 37–45. <https://doi.org/10.1179/1476830511y.0000000027>
10. Yan, A. T., Yan, R. T., Tan, M., Hackam, D. G., Leblanc, K. L., Kertland, H., Tsang, J. L., Jaffer, S., Kates, M. L., Leiter, L. A., Fitchett, D. H., Langer, A., & Goodman, S. G. (2006). Contemporary management of dyslipidemia in high-risk Patients: Targets still not met. *The American Journal of Medicine*, 119 (8), 676–683. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2005.11.015>
11. Gibbons, R. J., Abrams, J., Chatterjee, K., Daley, J., Deedwania, P. C., Douglas, J. S., Ferguson, T. B., Fihn, S. D., Fraker, T. D., Gardin, J. M., O'Rourke, R. A., Pasternak, R. C., Williams, S. V., Gibbons, R. J., Alpert, J. S., Antman, E. M., Hiratzka, L. F., Fuster, V., Faxon, D. P., Gregoratos, G., & Smith, S. C. (2003). ACC/AHA 2002 guideline update for the management of patients with chronic stable angina – summary article: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on the Management of Patients With Chronic Stable Angina). *Journal of the American College of Cardiology*, 41 (1), 159–168. [https://doi.org/10.1016/S0735-1097\(02\)02848-6](https://doi.org/10.1016/S0735-1097(02)02848-6)
12. Johnston, T. P., Korolenko, T. A., Pirro, M., & Sahebkar, A. (2017). Preventing cardiovascular heart disease: Promising nutraceutical and non-nutraceutical treatments for cholesterol management. *Pharmacological Research*, 120, 219–225. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.04.008>
13. Marcason, W. (2013). What is green coffee extract? *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113 (2), 364. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.12.004>
14. Stone, N. J., Robinson, J. G., Lichtenstein, A. H., Bairey Merz, C. N., Blum, C. B., Eckel, R. H., Goldberg, A. C., Gordon, D., Levy, D., Lloyd-Jones, D. M., McBride, P., Schwartz, J. S., Shero, S. T., Smith, S. C., Jr., Watson, K., & Wilson, P. W. (2014). 2013 ACC/AHA guideline on the treatment of blood cholesterol to reduce atherosclerotic cardiovascular risk in adults: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Journal of the American College of Cardiology*, 63 (25 Part B), 2889–2934. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.11.002>
15. National Cholesterol Education Program (NCEP) Expert Panel. (2002). Third report of the National Cholesterol Education Program (NCEP) expert panel on detection, evaluation, and treatment of high blood cholesterol in adults (Adult Treatment Panel III) final report. *Circulation*, 106 (25), 3143–3421. <https://doi.org/10.1161/circ.106.25.3143>
16. Bianconi, V., Mannarino, M. R., Sahebkar, A., Cosentino, T., & Pirro, M. (2018). Cholesterol-lowering nutraceuticals affecting vascular function and cardiovascular disease risk. *Current Cardiology Reports*, 20 (7). <https://doi.org/10.1007/s11886-018-0994-7>
17. Fatahi, S., Daneshzad, E., Kord-Varkaneh, H., Bellissimo, N., Brett, N. R., & Azadbakht, L. (2018). Impact of diets rich in whole grains and fruits and vegetables on cardiovascular risk factors in overweight and obese women: A randomized clinical feeding trial. *Journal of the American College of Nutrition*, 37 (4), 273–282. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1444520>
18. Haidari, F., Samadi, M., Mohammadshahi, M., Jalali, M. T., & Engali, K. A. (2017). Energy restriction combined with green coffee bean extract affects serum adipocytokines and the body composition in obese women. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 26 (6), 1048–1054.
19. Gorji, Z., Varkaneh, H. K., talaei, S., Nazary-Vannani, A., Clark, C. C. T., Fatahi, S., Rahmani, J., Salamat, S., & Zhang, Y. (2019). The effect of green-coffee extract supplementation on obesity: A systematic review and dose-response meta-analysis of randomized controlled trials. *Phytomedicine*, 63, 153018. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2019.153018>
20. Salamat, Sh., Mohammadshahi, M., Haidari, F., Haghighizadeh, M. H., & Heli, B. (2018). The effect of green coffee bean extract supplementation on anthropometric indices, lipid profile and high-sensitivity C-reactive protein in adult men with dyslipidemia. *Journal of Biochemical Technology*, 9 (2), 75–81.
21. Agudelo-Ochoa, G. M., Pulgarín-Zapata, I. C., Velásquez-Rodríguez, C. M., Duque-Ramírez, M., Naranjo-Cano, M., Quintero-Ortiz, M. M., Lara-Guzmán, O. J., & Muñoz-Durango, K. (2016). Coffee consumption increases the antioxidant capacity of plasma and has no effect on the lipid profile or vascular function in healthy adults in a randomized controlled trial. *The Journal of Nutrition*, 146 (3), 524–531. <https://doi.org/10.3945/jn.115.224774>
22. Scalbert, A., Johnson, I. T., & Saltmarsh, M. (2005). Polyphenols: antioxidants and beyond. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81 (1), 215S–217S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.215s>
23. Upadhyay, R., & Mohan Rao, L. J. (2013). An outlook on chlorogenic acids – occurrence, chemistry, technology, and biological activities. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (9), 968–984. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.576319>
24. Ludwig, I. A., Mena, P., Calani, L., Cid, C., Del Rio, D., Lean, M. E. J., & Crozier, A. (2014). Variations in caffeine and chlorogenic acid contents of coffees: what are we drinking? *Food & Function*, 5 (8), 1718–1726. <https://doi.org/10.1039/c4fo00290c>
25. Song, S. J., Choi, S., & Park, T. (2014). Decaffeinated green coffee bean extract attenuates diet-induced obesity and insulin resistance in mice. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 718379. <https://doi.org/10.1155/2014/718379>
26. Santana-Gálvez, J., Cisneros-Zevallos, L., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2017). Chlorogenic acid: Recent advances on its dual role as a food additive and a nutraceutical against metabolic syndrome. *Molecules*, 22 (3), 358. <https://doi.org/10.3390/molecules22030358>
27. Meng, S., Cao, J., Feng, Q., Peng, J., & Hu, Y. (2013). Roles of chlorogenic acid on regulating glucose and lipids metabolism: A review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2013, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2013/801457>
28. Hao, M.-L., Pan, N., Zhang, Q.-H., & Wang, X.-H. (2015). Therapeutic efficacy of chlorogenic acid on cadmium-induced oxidative neuropathy in a murine model. *Experimental and Therapeutic Medicine*, 9 (5), 1887–1894. <https://doi.org/10.3892/etm.2015.2367>
29. Wu, C., Luan, H., Zhang, X., Wang, S., Zhang, X., Sun, X., & Guo, P. (2014). Chlorogenic acid protects against atherosclerosis in ApoE^{-/-} mice and promotes cholesterol efflux from RAW264.7 macrophages. *PLOS ONE*, 9 (9), e95452. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095452>
30. Bhattacharyya, S., Majhi, S., Saha, B. P., & Mukherjee, P. K. (2014). Chlorogenic acid-phospholipid complex improve protection against UVA induced oxidative stress. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 130, 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2013.11.020>
31. Hoelzl, C., Knasmüller, S., Wagner, K.-H., Elbling, L., Huber, W., Kager, N., Ferk, F., Ehrlich, V., Nersesyan, A., Neubauer, O., Desmarchelier, A., Marin-Kuan, M., Delatour, T., Verguet, C., Bezençon, C., Besson, A., Grathwohl, D., Simic, T., Kundi, M., Schilter, B., & Cavin, C. (2010). Instant coffee with high chlorogenic acid levels protects humans against oxidative damage of macromolecules. *Molecular Nutrition & Food Research*, 54 (12), 1722–1733. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201000048>
32. AlAmri, O. D., Albeltagy, R. S., M. A. Akabawy, A., Mahgoub, S., Abdel-Mohsen, D. M., Abdel Moneim, A. E., & Amin, H. K. (2020). Investigation of antioxidant and anti-inflammatory activities as well as the renal protective potential of green coffee extract in high fat-diet/streptozotocin-induced diabetes in male albino rats. *Journal of Functional Foods*, 71, 103996. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103996>

33. Babakr, A. T., & Althubiti, M. (2023). Impact of antioxidant-rich diet on decreasing oxidized low-density lipoproteins, 8-hydroxy-2'-deoxyguanosine and HbA1c in Saudi men. *Biomedical and Pharmacology Journal*, 16 (2), 729–737. <https://doi.org/10.13005/bpj/2655>
34. Li, S.-Y., Chang, C.-Q., Ma, F.-Y., & Yu, C.-L. (2009). Modulating effects of chlorogenic acid on lipids and glucose metabolism and expression of hepatic peroxisome proliferator-activated receptor- α in golden hamsters fed on high fat diet. *Biomedical and Environmental Sciences*, 22 (2), 122–129. [https://doi.org/10.1016/s0895-3988\(09\)60034-9](https://doi.org/10.1016/s0895-3988(09)60034-9)
35. Cho, A.-S., Jeon, S.-M., Kim, M.-J., Yeo, J., Seo, K.-I., Choi, M.-S., & Lee, M.-K. (2010). Chlorogenic acid exhibits anti-obesity property and improves lipid metabolism in high-fat diet-induced-obese mice. *Food and Chemical Toxicology*, 48 (3), 937–943. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2010.01.003>
36. Shimoda, H., Seki, E., & Aitani, M. (2006). Inhibitory effect of green coffee bean extract on fat accumulation and body weight gain in mice. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 6 (1). <https://doi.org/10.1186/1472-6882-6-9>
37. Murase, T., Misawa, K., Minegishi, Y., Aoki, M., Ominami, H., Suzuki, Y., Shibuya, Y., & Hase, T. (2011). Coffee polyphenols suppress diet-induced body fat accumulation by downregulating SREBP-1c and related molecules in C57BL/6J mice. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 300 (1), E122–E133. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00441.2010>
38. Nagao, T., Meguro, S., Hase, T., Otsuka, K., Komikado, M., Tokimitsu, I., Yamamoto, T., & Yamamoto, K. (2009). A catechin-rich beverage improves obesity and blood glucose control in patients with type 2 diabetes. *Obesity*, 17 (2), 310–317. <https://doi.org/10.1038/oby.2008.505>
39. Wan, C.-W., Wong, C. N.-Y., Pin, W.-K., Wong, M. H.-Y., Kwok, C.-Y., Chan, R. Y.-K., Yu, P. H.-F., & Chan, S.-W. (2013). Chlorogenic acid exhibits cholesterol lowering and fatty liver attenuating properties by up-regulating the gene expression of PPAR- α in hypercholesterolemic rats induced with a high-cholesterol diet. *Phytotherapy Research*, 27 (4), 545–551. <https://doi.org/10.1002/ptr.4751>
40. Olechno, E., Puścion-Jakubik, A., Zujko, M. E., & Socha, K. (2021). Influence of various factors on caffeine content in coffee brews. *Foods*, 10 (6), 1208. <https://doi.org/10.3390/foods10061208>
41. Tanaka, K., Nishizono, S., Tamaru, S., Kondo, M., Shimoda, H., Tanaka, J., & Okada, T. (2009). Anti-obesity and hypotriglyceridemic properties of coffee bean extract in SD rats. *Food Science and Technology Research*, 15 (2), 147–152. <https://doi.org/10.3136/fstr.15.147>
42. Li, W. N., Han, Y. D., Liu, Y. H., Chen, Y., & Xiao, Y. (2012). Effects of chlorogenic acid extract from leaves of *Eucommia ulmoides* on key enzyme activities in lipid metabolism. *Traditional Chinese Drug Research and Clinical Pharmacology*, 23 (1), 30–33.
43. Rudrapal, M., Khaimar, S. J., Khan, J., Dukhyil, A. B., Ansari, M. A., Alomary, M. N., Alshabrm, F. M., Palai, S., Deb, P. K., & Devi, R. (2022). Dietary polyphenols and their role in oxidative stress-induced human diseases: Insights into protective effects, antioxidant potentials and mechanism(s) of action. *Frontiers in Pharmacology*, 13, 806470. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.806470>
44. Rahaman, Md. M., Hossain, R., Herrera-Bravo, J., Islam, M. T., Atolani, O., Adeyemi, O. S., Owolodun, O. A., Kambizi, L., Daştan, S. D., Calina, D., & Sharifi-Rad, J. (2023). Natural antioxidants from some fruits, seeds, foods, natural products, and associated health benefits: An update. *Food Science & Nutrition*, 11 (4), 1657–1670. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3217>
45. Bender, O., & Atalay, A. (2021). Polyphenol chlorogenic acid, antioxidant profile, and breast cancer. In *Cancer: Oxidative stress and dietary antioxidants* (2nd ed., pp. 311–321). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819547-5.00028-6>

ORCID

- | | |
|--|---|
| S. I. Salih  | https://orcid.org/0000-0002-6438-8281 |
| N. A. Alkafaji  | https://orcid.org/0009-0009-1720-6850 |
| S. R. Al-Saedi  | https://orcid.org/0000-0002-3316-500X |
| R. F. Mousa  | https://orcid.org/0000-0001-5194-8019 |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Diagnosis and comparison of treatment schemes for dermatophytosis in cats in the conditions of the veterinary clinic LLC "Biocenter", Poltava

M. Kone | O. Kruchynenko✉ | M. Petrenko

Article info

Correspondence Author

O. Kruchynenko

E-mail:

oleg.kruchynenko@pdau.edu.ua

Poltava State Agrarian

University,

Skovoroda Str., 1/3, Poltava,

36000, Ukraine

Citation: Kone, M., Kruchynenko, O., & Petrenko, M. (2026). Diagnosis and comparison of treatment schemes for dermatophytosis in cats in the conditions of the veterinary clinic LLC "Biocenter", Poltava. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 166–172. doi: 10.31210/spi2026.29.01.27

Feline dermatophytosis is a zoonotic fungal disease caused primarily by fungi of the genera *Microsporum* and *Trichophyton*. The infection most commonly involves the skin of the face, limbs, and/or tail. In affected animals, dermatophyte infection is characterized by focal alopecia accompanied by erythema and crust formation, a clinical presentation commonly referred to as ringworm. The aim of this study was to determine the epidemiological characteristics of dermatophytosis in cats based on data obtained from the "Biocenter" Veterinary Clinic LLC in the city of Poltava, as well as to evaluate the therapeutic efficacy of antimycotic agents in feline dermatophytosis. Overall, during 2023–2024, microscopic and luminescent examinations were performed on 282 samples of pathological material collected from affected animals. Age- and breed-related susceptibility was assessed, while seasonal dynamics were analyzed throughout 2024. Analysis of epidemiological data revealed that the proportion of registered dermatophytosis cases among the total number of animals with infectious pathology accounted for 77.2 % in 2023 and 69.8 % in 2024. Dermatophytosis was diagnosed more frequently in cats under 1 year of age (60.0 %), with mixed-breed animals being the most susceptible (71.0 %). In the structure of feline morbidity, mycoses caused by fungi of the genus *Microsporum* predominated and were detected in 67.73 % of infected animals. The course of the disease was characterized by pronounced seasonality, with a higher incidence observed during the summer-autumn period. Clinical evaluation of feline dermatomycoses under the conditions of the "Biocenter" Veterinary Clinic in Poltava showed that affected animals exhibited clearly defined lesions predominantly localized on the head, neck, and rump. In cases of the deep form of the disease, extensive areas of involvement with poorly demarcated borders were observed. The developed treatment regimen combining the vaccine "Biofel-M" with the topical preparation "Sanoderm" demonstrated the highest therapeutic efficacy (100 %).

Keywords: dermatophytosis, cats, epidemiology, clinical signs, therapeutic efficacy.

Діагностика та порівняння схем лікування дерматофітозів у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава

М. С. Конє | О. В. Кручиненко | М. О. Петренко

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Дерматофітоз котів є зоонозним грибковим захворюванням, яке переважно спричиняється грибами родів *Microsporum* та *Trichophyton*. Інфекційний процес найчастіше уражає шкіру морди, кінцівок та/або хвоста. У хворих тварин дерматофітна інфекція характеризується осередковою алопецією, що супроводжується еритемою та утворенням кірочок – клінічним проявом, відомим як стригучий лишай. Метою цього дослідження було визначити епізоотологічні особливості дерматофітозів у котів, базуючись на даних ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» у місті Полтава, та визначити лікувальну ефективність антимікотичних препаратів за дерматофітозів у котів. Загалом у період 2023–2024 років провели мікроскопічне та люмінесцентне дослідження 282 зразків патологічного матеріалу, відібраного від хворих тварин. Вивчено вікову й породну чутливість. Сезонну динаміку вивчали упродовж 2024 року. В результаті аналізу епізоотологічних даних виявлено, що частка зареєстрованих випадків дерматофітозів від загальної кількості тварин із заразною патологією у 2023 році склала 77,2 %, тоді як у 2024 році – 69,8 %. Встановлено, що дерматофітози у котів частіше реєструються серед тварин віком до 1 року (60,0%). Більш схильні до захворювання безпородні тварини (71,0 %). У структурі захворюваності котів домінували мікози, спричинені грибами роду *Microsporum*, які були виявлені у 67,73 % інфікованих тварин. Хвороба має виражену сезонність, що проявляється у літньо-осінній період року. При вивченні клінічної картини дерматофітозів у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава, хворі тварини мали яскраво виражені осередки ураження, які локалізувалися здебільшого на голові, шії та крупі. При глибокій формі відзначали значну площу уражених ділянок, що не мали чітко виражених меж. Розроблена нами схема лікування, що включає вакцину «Біофел-М» та мазь «Санодерм», має найвищу ефективність. Клінічні випробування запропонованої комплексної схеми терапії продемонстрували її абсолютну терапевтичну спроможність: у ході експерименту з 10 піддослідних тварин першої групи повне клінічне та мікологічне одужання було зафіксовано в усіх 10 особин, що підтверджує 100,0 % ефективність розробленого протоколу.

Ключові слова: дерматофітози, коті, епізоотологія, клінічні ознаки, терапевтична ефективність.



Бібліографічний опис для цитування: Конє М. С., Кручиненко О. В., Петренко М. О. Діагностика та порівняння схем лікування дерматофітозів у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 166–172.

Вступ

Дерматофітози – це зоонозні захворювання шкіри, спричинені патогенними грибами-дерматофітами [7, 10, 18]. Ця патологія більш відома як стригучий лишай, який клінічно характеризується вогнищевою або мультифокальною алопецією та утворенням на шкірі кірок зі специфічною морфологією [6, 23]. Збудниками захворювання є плісєневі гриби родів *Microsporum* і *Trichophyton*, які уражають поверхневі шари шкіри, волосняний покрив і кігті. Відомо близько 40 видів грибів, здатних спричинювати дерматофітози у котів, однак у практиці ветеринарної медицини дрібних домашніх тварин найбільше епізоотологічне та клінічне значення мають *Microsporum canis*, *Microsporum gypsum* і *Trichophyton mentagrophytes* [2].

Загальновідомим є той факт, що гриби з родів *Trichophyton*, *Microsporum* та *Achorion* викликають самостійні хвороби – відповідно, трихофітію, мікроспорію і фавус (паршу). Згідно з опублікованими даними, понад 90 % грибкових шкірних хвороб котів спричиняються збудником *Microsporum*. Зазначені збудники є дуже стійкими у зовнішньому середовищі і можуть зберігати свою вірулентність в ураженому волоссі протягом 5–10 років [1, 3, 9]. Захворюваність тварин на дерматофітози залишається стабільно високою, особливо в період сезонних спалахів. За даними деяких авторів, при постійному використанні лікарських засобів з однією і тією ж діючою речовиною формуються нові генерації грибів, стійких до цих препаратів [17].

Дослідниками встановлено, що серед загальних мікозів домашніх тварин суттєву питому вагу мали ураження, спричинені мікроскопічними грибами *Alternaria alternata*. Упродовж досліджуваного періоду у м. Києві зареєстровано 174 випадки інфікування грибами роду *Alternaria*, що відповідало 28,3 % від загальної кількості зразків. Водночас виявлено 67 випадків ураження грибами роду *Microsporum* (10,9 %) та 31 випадок дерматофітозів, зумовлених грибами роду *Trichophyton* (5,1 %). Альтернативні ураження діагностували у собак і котів незалежно від породи, віку, довжини шерстного покриву та умов утримання [22].

Авторами проведено мікологічне дослідження 673 зразків зіскрібків шкіри та волосся, відібраних у котів і собак із клінічними ознаками дерматофітозів. Позитивними на дерматофіти родів *Microsporum* і *Trichophyton* виявилися 162 зразки. Патогенні гриби було ізольовано у 87 зразках від собак (20,96 %) та 75 зразках від котів (29,07 %). Домінуючим збудником був *Microsporum canis*, який виявляли у 72,41 % інфікованих собак і 77,33 % котів. Інші дерматофіти представлені видами *M. gypsum*, *M. vanbreuseghemii*, *M. nanum*, *Trichophyton mentagrophytes* та *T. terrestre*, з видовими відмінностями у частоті ізоляції між собаками і котами. У 227 зразках ідентифіковано сапрофітні гриби, серед яких переважали *Alternaria* spp., *Candida* spp., *Malassezia pachydermatis*, *Cladosporium* spp. та *Penicillium* spp., тоді як *Chrysosporium* spp., *Aspergillus* spp. і *Trichosporon cutaneum* виявляли поодинокі [11].

У системі лікувально-профілактичних заходів провідну роль відіграють протигрибкові препарати системної та місцевої дії, а також засоби з імунomodувальними властивостями [15]. За даними науковців, мікологічне одужання було найшвидшим при поєднанні топікального застосування розчину вапна та сірки з пероральним введенням ітраконазолу. Ці результати підкреслюють ключову роль місцевих біоцидів у лікуванні дерматофітозів котів, що потенційно дає змогу зменшити залежність від системних протигрибкових препаратів і тим самим мінімізувати ризик виникнення резистентності до антимікробних засобів [21].

Проблема дерматофітозів не є специфічною лише для певного виду тварин, а враховуючи тісний взаємозв'язок усіх живих організмів, вона може набувати соціального характеру. Вакцини як засіб специфічної терапії дерматофітозів тварин сприяють швидкій елімінації збудника з організму та формуванню напруженого імунітету. За застосування з профілактичною метою вони попереджають виникнення інфекції та контамінацію грибами навколишнього середовища. Профілактичне щеплення котів проти дерматофітозів (трихофітії, мікроспорії) дає змогу регулювати рівень захворюваності серед цих тварин [12].

Зважаючи на вищевикладене, актуальною є розробка ефективних схем застосування сучасних засобів специфічної профілактики та етіотропної терапії дерматофітозів у котів. Тому успішна ліквідація дерматофітозів зумовлена використанням високо-ефективних, доступних і зручних у застосуванні лікарських препаратів, а також суворим дотриманням санітарно-гігієнічних норм.

Мета дослідження

Мета дослідження полягала у вивченні епізоотології дерматофітозів у котів, їх діагностики та визначенні лікувальної ефективності антимікотичних препаратів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава.

Матеріали і методи

Дослідження проводили упродовж 2023–2024 рр. в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава. Мікроскопічні дослідження виконували на базі лабораторії ветеринарної клініки та лабораторії мікробіології кафедри інфекційної патології, гігієни, санітарії та біобезпеки Полтавського державного аграрного університету. Об'єктом клінічного та лабораторного дослідження стали коти різних порід і різної вікової групи (від 4 місяців до 8 років), які мали яскраво виражені ознаки ураження дерматофітами. Під час вивчення епізоотологічних особливостей дерматофітозів у котів звертали увагу на дані журналів реєстрації хворих тварин за 2023–2024 рр.

Діагноз на дерматофітози у котів встановлювали комплексно на підставі епізоотологічних даних, даних анамнезу, клінічних ознак хвороби та результатів лабораторних досліджень. За час виконання дослідів провели мікроскопічне та люмінесцентне

дослідження 282 зразків патологічного матеріалу, відібраного від хворих тварин.

Проводили загальний огляд тварин, звертали увагу на їх шерстний покрив та на внутрішні й зовнішні сторони вушних раковин. За допомогою люмінесцентного методу досліджували всіх підозрілих на дерматофітози тварин. Дослідження проводили до лікування, оскільки деякі з лікарських препаратів, такі як саліцилова кислота, риванол, вазелін та інші, мають властивість до флуоресценції. Патологічний матеріал або тварину опромінювали ультрафіолетом за допомогою лампи Вуда у затемненому приміщенні.

За мікроскопічного дослідження патологічний матеріал відбирали до лікування тварин на межі здорової та ураженої тканин (кірочки, шерсть, лусочки, зіскрібки шкіри). Поверхневі зіскрібки шкіри відбирали в зонах облісіння, розчухування та запалення й наносили на предметне скельце. До зразків патологічного матеріалу для їх подальшого дослідження додавали 10 % розчин гідроксиду натрію, злегка підігрівали над полум'ям спиртівки, потім накривали покривним склом і досліджували під мікроскопом при малому та середньому збільшенні.

З метою визначення терапевтичної ефективності різних антимікотичних препаратів та вакцин нами було сформовано чотири дослідні групи (по 10 тварин у кожній) хворих на дерматофітози. Тварин відбирали за принципом аналогів.

Лікарські препарати для дослідних груп тварин використовували за такою схемою:

Першій групі тварин з лікувальною метою вводили вакцину «Біофел-М» дворазово внутрішньом'язово по 1 мл з інтервалом 10–21 доба.

Другій групі застосовували антимікотичний препарат «Ітракон» перорально, індивідуально у дозі 10 мг на кг маси тіла за діючою речовиною 1 раз на день протягом семи діб, надалі – через добу протягом 16 діб.

Третій групі застосовували «Флуконазол» індивідуально, перорально, у дозі 10 мг/кг маси тіла кожні 12 годин протягом 7 діб, надалі – через добу протягом 16 діб.

Тварин четвертої групи обробляли уражені ділянки препаратом «Зооміколь» 1–2 рази на добу до зникнення ураження.

Усім тваринам 1–3-ї груп додатково обробляли уражені ділянки тіла маззю «Санодерм» 2 рази на

добу до покращення клінічного стану. Мазь «Санодерм» втирали хворим тваринам за допомогою ватного тампона, виходячи за межі уражених ділянок.

Результати та їх обговорення

Згідно з даними амбулаторного журналу обліку хворих тварин за 2023–2024 рр. встановлено, що захворюваність котів на дерматофітози становила значну частку від усіх зареєстрованих випадків заразної патології серед котів. Дані [рисунка 1](#) свідчать, що частка зареєстрованих випадків дерматофітозів від загальної кількості тварин із заразною патологією у 2023 році становила 77,2 %, тоді як у 2024 році – 69,8 %.

У структурі захворюваності котів домінували мікози, спричинені грибами роду *Microsporum*, які були виявлені у 67,73 % інфікованих тварин.

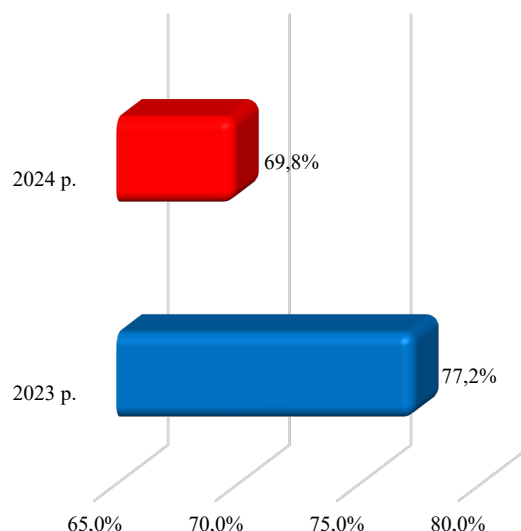


Рис. 1. Захворюваність котів на дерматофітози за 2023 і 2024 рр.

Під час аналізу вікової динаміки захворюваності встановлено, що дерматофітози переважно реєструються серед молодих тварин. Відомості щодо вікової структури дерматофітозів у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» (м. Полтава) наведено в [таблиці 1](#).

Таблиця 1

Вікова динаміка захворюваності котів на дерматофітози у м. Полтава за 2023–2024 рр.

Вік тварини	Кількість хворих тварин у 2023 році (абс. число)	Кількість хворих тварин у 2023 році (%)	Кількість хворих тварин у 2024 році (абс. число)	Кількість хворих тварин у 2024 році (%)
до 1 року	49	69,0	36	60,0
1–5 років	13	18,3	19	31,7
старші 5 років	9	12,7	5	8,3
Всього	71	100,0	60	100,0

Найвищі показники ураженості відмічено у котів віком до одного року. Зокрема, у 2023 році частка інфікованих тварин у цій віковій групі становила 69,0 %, тоді як у 2024 році – 60,0 %. У віковій групі котів 1–5 років у 2024 році рівень ураженості

зріс майже вдвічі (31,7 %) порівняно з 2023 роком (18,3 %). Натомість серед котів віком понад 5 років відзначено зниження показника інфікованості до 8,3 %.

Результати вивчення породної структури захворюваності котів на дерматофітози представлені на **рисунку 2**.

Нашими дослідженнями з'ясовано, що найвищий відсоток інфікованих котів становили безпородні (метиси), що склали 71,0 % від усіх випадків. Коти британської породи були уражені у 9,9 %, а перської – 8,4 % відповідно. Тварини сіамської (5,3 %), бенгальської (3,1 %) та породи мейн-кун (2,3 %) становили найнижчу частку серед інфікованих, які надходили до клініки ТОВ «Біоцентр» (м. Полтава).

Результати вивчення сезонної динаміки дерматофітозів упродовж 2024 року у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава представлені на **рисунку 3**.

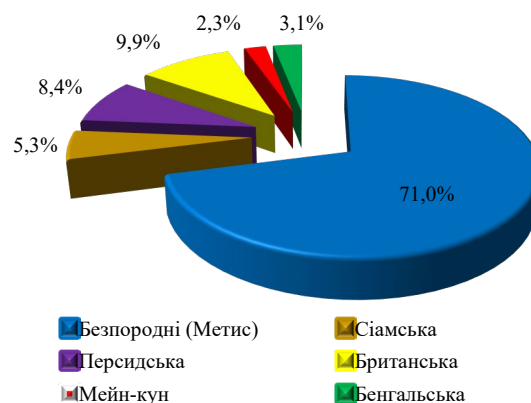


Рис. 2. Породна структура захворюваності котів на дерматофітози за 2023 і 2024 рр.

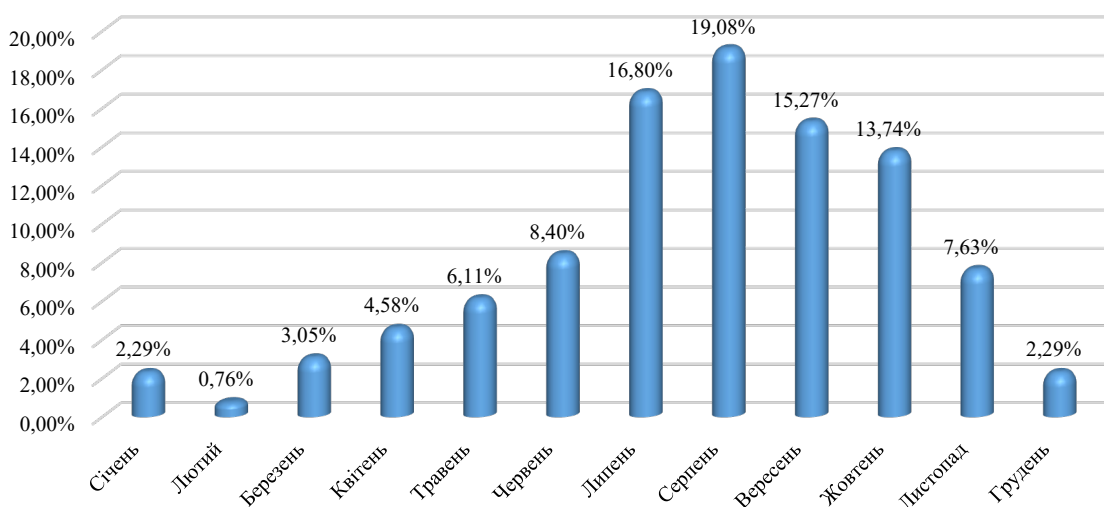


Рис. 3. Сезонна динаміка захворюваності котів на дерматофітози

Аналіз даних журналу реєстрації хворих тварин за 2024 рік показав, що пік захворюваності на дерматофітози у котів припадає на липень-жовтень, а ураженість тварин коливається в межах 13,74–19,08 %. Найнижчі показники інфікування тварин спостерігалися у зимовий період, а відсоток уражених тварин не перевищував 2,29 %. З березня по червень реєстрували поступове збільшення кількості хворих тварин до 8,4 %.

При вивченні клінічної картини дерматофітозів у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава, хворі тварини мали яскраво виражені осередки ураження, які локалізувалися здебільшого на голові, шії та крупі. При глибокій формі – значна площа уражених ділянок, які не мали чітко виражених меж. На початку хвороби утворювалися вогнища, які спочатку мали вигляд малих, малопомітних горбиків, що добре відчувалися при пальпації, а потім переходили у різко обмежені плями.

В усіх котів без винятку відмічали на шкірі утворення різко обмежених округлих плям, безволосих або з незначними залишками волосся. При цьому спостерігалися характерні різко виражені запальні

явища, оскільки уражаються не тільки поверхневі, а й глибокі шари шкіри, що може призвести до порушень в інших органах та тканинах. В уражених ділянках волосся обламане, виділяється ексудат, ділянки ураження вкриті скоринками, відмічали сильний свербіж у місцях ураження. За тривалішого перебігу хвороби у котів з'являлися нові спалахи вогнищ на голові, шії, тулубі та кінцівках, при цьому спостерігали гнійний фолікуліт, абсцеси та формування товстих кірок із засохлого гною. При атипичній формі перебігу хвороби на шкірі голови та інших ділянках тіла тварини спостерігалися характерні грибові осередки круглої форми без ознак запалення. Унаслідок глибокого ураження волоссяних фолікулів на шкірі тварин після загоєння залишалися безволосі або депігментовані плями.

За даними **таблиці 2**, найбільшу ефективність лікування дерматофітозів у котів в умовах ветеринарної клініки ТОВ «Біоцентр» м. Полтава отримали при використанні схеми, що включала вакцину «Біофел-М» в комплексі з маззю «Санодерм». Ефективність даної схеми становила 100 % (всі 10 хворих тварин одужали). Нижчий результат

показало використання препарату «Зооміколь» без застосування системних антимікотичних препаратів (ефективність склала 60,0 %, 6 із 10 хворих тварин одужали).

Результати наших досліджень вказують на те, що у більшості котів переважали ураження середнього ступеня тяжкості. У тварин першої дослідної групи клінічні прояви дерматофітозу на шкірі в середньому зникали через 5–7 діб від початку лікування. У другій та третій групах ознаки захворювання не реєструвалися на 9–12 добу. У котів четвертої групи клінічні прояви ураження шкіри зберігалися переважно до 15-ї доби. За результатами повторних мікроскопічних і люмінесцентних досліджень патогенні гриби не виявлено.

За даними дослідників, відсоток позитивних зразків на дерматофітози становив 64/136 (47,0 %).

Таблиця 2

Терапевтична ефективність різних схем лікування дерматофітозів у котів

Група тварин	Схема лікування	Ефективність лікування: 30 доба (тварин одужало / %)	Ефективність лікування: 60 доба (тварин одужало / %)	Ефективність лікування: 90 доба (тварин одужало / %)
1	Вакцина «Біофел-М» + «Санодерм»	10 / 100	10 / 100	10 / 100
2	«Ітракон» + «Санодерм»	9 / 90	9 / 90	9 / 90
3	«Флуконазол» + «Санодерм»	8 / 80	8 / 80	8 / 80
4	«Зооміколь»	6 / 60	6 / 60	6 / 60

За результатами моніторингових досліджень дерматофітозів у дрібних домашніх тварин встановлено, що вагому частку збудників становили гриби виду *Alternaria alternata*. Їхня питома вага у загальній кількості досліджених проб послідовно зростала та становила: 32,5 % у 2009 році, 34,7 % – у 2010 році, 35,1 % – у 2011 році, 35,2 % – у 2012 році, 46,3 % – у 2013 році та 45,0 % – у 2014 році. Клінічний перебіг альтернативних дерматозів мав як гострий, так і хронічний характер. Плісєвмі ураження шкіри супроводжувалися вираженим свербіжем, склеюванням шерстного покриву ексудатом, формуванням численних кірок і лусочок, появою пустул, вогнищ алопеції, ран, що тривалий час не загоювалися, а також гіперемією та запальними змінами шкіри, зокрема у міжпальцевих ділянках [13].

Грунтовні дослідження показали, що жоден діагностичний тест не був визначений як золотий стандарт. Успішне лікування вимагає одночасного застосування системних пероральних протигрибкових препаратів і місцевої дезінфекції волосяного покриву. Лампа Вуда та прямі обстеження мають добру передбачуваність позитивних та негативних результатів, системні протигрибкові препарати мають широкий запас безпеки, а фізичне очищення є найважливішим для деконтамінації середовища, що зазнало впливу [17]. Дослідження лампою Вуда, дерматоскопія, пряме дослідження шерсті та луски, посіви, ПЛР і гістологічні дослідження використовуються у ветеринарних клініках [19]. Інші автори звертають увагу на те, що ПЛР може бути кращим методом діагностики дерматофітозу котів у клінічній практиці, особливо коли потрібні швидкі та точні результати [16].

Microsporum canis був ідентифікований у всіх культурах з позитивним результатом тесту на дерматофіти та був найпоширенішим видом грибка у котів [8]. Результати, отримані іншими авторами, вказують на значно нижчі показники інфікування котів на території Індонезії – 10,5 %. Сприятливі фактори, такі як вік, стать та порода, показали, що дерматофітоз був найбільш поширений у котів віком до 6 місяців (41,7 %), котів чоловічої статі (50,5 %) та котів домашніх порід (43,9 %) [4]. У наших дослідженнях протягом 2023–2024 рр. відсоток уражених котів був значно вищим – 69,8–77,2 %. Наші дані підтверджують, що тварини до 1 року та безпородні (метиси) мали вищі показники ураженості порівняно з іншими віковими групами та породами котів.

Науковці зазначають, що необхідним є поєднання системного та місцевого лікування, яке триває кілька тижнів. Для системної терапії ітраконазол є препаратом вибору, тербінафін – альтернативою. Рекомендоване місцеве лікування – це багаторазове ополіскування тіла розчином еніконазолу або міконазолу з хлоргексидином або без нього [5]. Дослідник зазначає, що високу ефективність лікування дерматофітозів було отримано за використання місцевого фунгіцидного препарату «Мікостоп» (ТОВ «НВП Сузір'я», м. Харків, Україна) у спонтанно інфікованих тварин (собак, котів, морських свинок). За умов застосування препарату у тварин із значними ураженнями шкіри, у поєднанні з системним пероральним введенням тербінафіну, не було зареєстровано випадків інтоксикації чи розвитку алергічних реакцій [20].

При оцінці ефективності різних схем лікування дерматофітій встановлено, що найвищу терапевтичну ефективність забезпечувало поєднане застосування вакцинації тварин препаратом «Біофел-М» та імуностимулятора «Імунокор» [14]. Запропонована нами схема лікування, що передбачала поєднане застосування вакцини «Біофел-М» та препарату «Санодерм», забезпечила максимальну терапевтичну ефективність, яка становила 100 %.

Більшість збудників дерматофітозів є спільними для тварин і людини, що свідчить про зоонозний характер цих захворювань і зумовлює загрозу не лише для здоров'я тварин, а й для їхніх власників. У зв'язку з цим своєчасна діагностика та застосування ефективних методів лікування мають вирішальне значення для профілактики й контролю дерматофітозів у тварин.

Висновки

Встановлено, що на дерматофітози хворіють коти різних порід, однак найчастіше захворювання реєструється серед безпородних тварин, частка яких становить 71,0 %. Серед загальної кількості інфікованих котів переважали ураження грибами роду *Microsporum*, частка яких становила 67,73 % від усіх хворих тварин.

Перебіг захворювання характеризується вираженою сезонністю з переважанням випадків у літньо-осінній період року. Дерматофітози діагностуються у котів різного віку, проте найбільш схильними до зараження є тварини віком до одного року, на частку яких припадає 60,0 % випадків. Розроблена схема лікування із застосуванням вакцини «Біофел-М» у поєднанні з препаратом «Санодерм» продемонструвала найвищу терапевтичну ефективність (100 %).

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях плануємо вивчити дію дезінфектантів на збудники дерматофітозів *in vitro*.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що всі проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Клінічна та експериментальна частини роботи виконувалися з суворим дотриманням вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження», а також Директиви 2010/63/EU Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року про захист тварин, що використовуються для наукових цілей.

Усі діагностичні маніпуляції та лікувальні процедури проводилися виключно після отримання офіційної інформованої згоди від власників тварин на участь у дослідженні та застосування терапевтичних схем. Під час виконання дослідів хворим котам забезпечувалися належні умови утримання, якісний догляд, збалансована годівля, а також повна мінімізація будь-яких стресових, больових чи дискомфортних факторів.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання III та технологій на основі III

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі III під час підготовки цього рукопису.

References

1. Bila, N. V., Hlebeniuk, V. V., Zubkov, V. V., & Voronov, T. V. (2014). Epizootologichniy osoblyvosti dermatomikoziv u misti Dnipropetrovsk [Epizootological features of dermatomycoses in the city of Dnipropetrovsk]. *Naukovo-tehnichniy Biuletyn Nauchnodoslidnogo Tsentru Biobezpeky ta Ekologichnogo Kontrolyu Resursiv APK Dnipropetrovskoho Derzhavnoho Aharno-ekonomichnogo Universytetu*, 2 (3), 63–67. [in Ukrainian]
2. Boehm, T. M. S. A., & Mueller, R. S. (2019). Dermatophytose bei hund und katze – ein update. *Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere / Heimtiere*, 47 (04), 257–268. <https://doi.org/10.1055/a-0969-1446>
3. Bublyk, O., Lemeshchenko, H., & Tytarenko, V. (2004). Epizootologichniy monitorynh z trykhofitii kotiv ta sobak u m. Kyievi [Epizootological monitoring of trichophytosis in cats and dogs in Kyiv]. *Veterynarna Medytsyna Ukrainy*, 3, 9–11. [in Ukrainian]
4. Fauziyah, S. N. F., Dewi, I. M. W., & Khairani, S. (2025). Prevalence and pathological lesions of dermatophytosis in cats (*Felis catus*) at the Animal Health Center in Cimahi: august-september 2023. *Journal of Parasite Science*, 9 (2), 39–44. <https://doi.org/10.20473/jops.v9i2.61623>
5. Frymus, T., Gruffydd-Jones, T., Pennisi, M. G., Addie, D., Belák, S., Boucraut-Baralon, C., Egberink, H., Hartmann, K., Hosie, M. J., Lloret, A., Lutz, H., Marsilio, F., Möstl, K., Radford, A. D., Thiry, E., Truyen, U., & Horzinek, M. C. (2013). Dermatophytosis in cats. *Journal of Feline Medicine and Surgery*, 15 (7), 598–604. <https://doi.org/10.1177/1098612x13489222>
6. Haggag, Y., Samaha, H., Nossair, M., & Mohammad, A. (2017). Prevalence of dermatophytosis in some animals and human in Behera province, Egypt. *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*, 53 (2), 64–71. <https://doi.org/10.5455/ajvs.203688>
7. Hobi, S., Tam, W. Y. J., Tse, M., Nekouei, O., Chai, Y., Hill, F. I., Cheung, E., Botes, W., Saulnier-Troff, F., McDermott, C. T., & Barrs, V. R. (2024). *Microsporum canis* causes cutaneous and extracutaneous feline dermatophytic Pseudomycetomas: Molecular identification and clinicopathological characteristics. *Journal of Fungi*, 10 (8), 576. <https://doi.org/10.3390/jof10080576>
8. Hussein, M., Oleiwi, K., & Fahad, O. (2025). Prevalence of dermatophyte infections in cats in Ramadi and Fallujah cities, Iraq. *Open Veterinary Journal*, 15 (5), 2081–2086. <https://doi.org/10.5455/ovj.2025.v15.i5.25>
9. Iovenko, A. V., & Koval, G. M. (2019). Monitoring of contagious skin diseases of dogs and cats in Odessa. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnology*, 21 (93), 160–163. <https://doi.org/10.32718/nvlvet9328>
10. Ivaskiene, M., Matusevicius, A. P., Grigonis, A., Zamokas, G., & Babickaitė, L. (2016). Efficacy of topical therapy with newly developed terbinafine and econazole formulations in the treatment of dermatophytosis in cats. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 19 (3), 535–543. <https://doi.org/10.1515/pjvs-2016-0067>
11. Kone, M. S., Korchan, L. M., Omelchenko, H. O., & Korchan, M. I. (2014). Poshyrennia dermatofitoziv sobak i kotiv u m. Poltava [Distribution of dermatomycoses in dogs and cats in Poltava]. *Problemy Zoonzhenerii ta Veterynarnoi Medytsyny*, 28 (2), 620–623. [in Ukrainian]
12. Korchan, L. M., Kone, M. S., Korchan, M. I., & Onishchenko, O. M. (2015). Porivniannia skhem likuvannia dermatofitoziv sobak i kotiv [Comparative evaluation of treatment regimens for dermatophytosis in dogs and cats]. *Problemy Zoonzhenerii ta Veterynarnoi Medytsyny*, 31 (2), 86–88. [in Ukrainian]
13. Kutsan, A. T., Yaroshenko, M. O., & Keleberda, M. I. (2015). Osoblyvosti perebihu dermatomikoziv dribnykh domashnikh tvaryn, sprychynenykh *Alternaria alternata* [Features of the course of dermatomycoses in small domestic animals caused by *Alternaria alternata*]. *Veterynarna Medytsyna*, 100, 98–102. [in Ukrainian]
14. Labunska, O.-L. I., & Hunchak, V. M. (2025). The effectiveness of the drug “Immunokor” in assessing the immune status of feral cats in a kennel with dermatophytosis. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 27 (118), 177–182. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11825>

15. Labunska, O.-L. I., Hunchak, V. M., Guttyj, B. V., Khariv, I. I., & Soltys, M. P. (2023). Dermatophytosis in cats (prevalence, diagnosis, course, treatment). *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 25 (112), 34–41. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11205>
16. Mendes, A., Azevedo, M., & Bicalho, A. (2024). Dermatophytosis in cats: A comprehensive study on diagnostic methods and their accuracy. *Open Veterinary Journal*, 14 (4), 1072. <https://doi.org/10.5455/ovj.2024.v14.i4.14>
17. Moriello, K. A., Coyner, K., Paterson, S., & Mignon, B. (2017). Diagnosis and treatment of dermatophytosis in dogs and cats: Clinical Consensus Guidelines of the World Association for Veterinary Dermatology. *Veterinary Dermatology*, 28 (3), 266. <https://doi.org/10.1111/vde.12440>
18. Paryuni, A. D., Indarjulianto, S., & Widyarini, S. (2020). Dermatophytosis in companion animals: A review. *Veterinary World*, 13 (6), 1174–1181. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2020.1174-1181>
19. Peano, A. (2019). Dermatophytosis of the dog and cat: Old and new diagnostic tools. *Veterinaria*, 33 (3), 125–139. <https://iris.unito.it/handle/2318/1713179?mode=simple>
20. Sapko, S. A. (2022). Study of the efficacy of MYCOSTOP for local therapy of dermatomycosis in animals. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 24 (105), 18–22. <https://doi.org/10.32718/nvlvet10503>
21. Sheetal, M. S., Chandran, A., Janus, A., Sindhu, O. K., Melepat, D. P., Kaithathara, V., & Rathish, R. L. (2024). Dermatophytosis in domestic cats: Identification, and treatment in an Indian context. *Acta Tropica*, 255, 107237. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2024.107237>
22. Shulyak, S., Marchenko, T., Chechet, O., Gaidey, O., Romanko, M., Myagka, K., Dobrozhan, Y., & Stupak, O. (2023). Diagnosis and prevalence of dermatomycosis among dogs and cats in Kyiv in the period from 2019 to 2022. *One Health Journal*, 1 (III), 36–41. <https://doi.org/10.31073/onehealthjournal2023-III-05>
23. Tater, K. C. (2021). An approach to pruritus. In *BSAVA manual of canine and feline dermatology* (4th ed., pp. 49–54). British Small Animal Veterinary Association. <https://doi.org/10.22233/9781910443811.6>

ORCID

M. Kone  <https://orcid.org/0000-0002-0828-6619>
 O. Kruchynenko  <https://orcid.org/0000-0003-3508-0437>
 M. Petrenko  <https://orcid.org/0000-0002-5275-9401>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Investigation of ectoparasites on domestic pigeon (*Columba livia domestica*) in Karbala province, Iraq

A. Yaldrum¹ | B. F. Albarzanji¹ | D. F. Saber² | M. Jawad³ | F. Alali⁴ | A. Sh. M. Alhesnawi^{5,6}

Article info

Correspondence Author
M. Jawad
E-mail:
marwa.h@uokerbala.edu.iq¹ College of Pharmacy, University of Kirkuk,
Kirkuk, 36001, Iraq² College of Veterinary Medicine, University of Kirkuk,
Kirkuk, 36001, Iraq³ College of Sciences, University of Kerbala,
Karbala, 56001, Iraq⁴ College of Veterinary Medicine, University of Kerbala,
Karbala, 56001, Iraq⁵ College of Education for Pure Sciences, University of Kerbala, Iraq,
Karbala, 56001, Iraq⁶ College of Dentistry, University of Al-Ameed,
56001, Iraq**Citation:** Yaldrum, A., Albarzanji, B. F., Saber, D. F., Jawad, M., Alali, F., & Alhesnawi, A. Sh. M. (2026). Investigation of ectoparasites on domestic pigeon (*Columba livia domestica*) in Karbala province, Iraq. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 173–179. doi: 10.31210/spi2026.29.01.28

Ectoparasitic arthropods inhabiting the skin or feathers of avian hosts utilize them for shelter and sustenance, considerably affecting animal health and flock productivity. This study investigated the prevalence, diversity, and intensity indices of ectoparasites infesting domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Karbala Province, Iraq. The survey was conducted from January 2025 to June 2025 across five districts representing northern, central, and southern geographical zones. A total of 100 domestic pigeons, comprising 63 males and 37 females, were purchased from local markets and clinically examined. Ectoparasites were collected manually, preserved in 70 % ethyl alcohol, cleared in 10 % potassium hydroxide solution, mounted in Canada balsam, and morphologically identified under a digital stereomicroscope. A total of 481 ectoparasites were collected from the 100 pigeons, revealing an exceptionally high overall prevalence of 99 % and a mean abundance of 4.81 parasites per bird. Seven distinct chewing lice species were identified within the recovered parasitic community, which was significantly dominated by *Campanulotes bidentatus* (54.89 %), followed by *Hohorstiella lata* (23.91 %) and *Columbicola columbae* (17.26 %). The remaining species included *Columbicola tschulyschman* (0.83 %), *Columbicola bidentatus* (0.42 %), *Myrsidea* sp. (2.49 %), and *Colpocephalum turbinatum* (0.21 %). Statistical analysis via the Chi-square test revealed no significant association between ectoparasite prevalence and host sex ($\chi^2 = 1.72$; $P = 0.19$). Multiple-species infestations were highly common, with 63 % of the pigeons harboring more than one ectoparasite species, distributed as single (34 %), double (44 %), and triple (19 %) infections. The calculated mean intensity varied among species, with *Hohorstiella lata* (8.214) and *Campanulotes bidentatus* (6.947) displaying the highest values. Clinically, infested pigeons exhibited poor, rough feather conditions and restlessness. These findings demonstrate that domestic pigeons in Karbala serve as major reservoirs for diverse chewing lice, highlighting the potential risks for parasite transmission to other avian hosts, including poultry. Consequently, there is an immediate need to enhance local management practices through regular ectoparasiticide applications, improved loft sanitation, and periodic surveillance to effectively protect avian health.

Keywords: chewing lice, ectoparasites, Iraq, prevalence, pigeon health, *Columba livia domestica*.

Дослідження ектопаразитів домашнього голуба (*Columba livia domestica*) у провінції Кербела, Ірак

А. Ялдрум¹ | Б. Ф. Альбарзанджі¹ | Д. Ф. Сабер² | М. Джавад³ | Ф. Алілі⁴ | А. Ш. М. Альхеснаві^{5,6}¹ Фармацевтичний факультет, Кіркуський університет, Кіркук, Ірак² Факультет ветеринарної медицини, Кіркуський університет, Кіркук, Ірак³ Факультет природничих наук, Університет Кербели, Кербела, Ірак⁴ Факультет ветеринарної медицини, Університет Кербели, Кербела, Ірак⁵ Педагогічний факультет чистих наук, Університет Кербели, Кербела, Ірак⁶ Стоматологічний факультет, Університет Аль-Амід, Кербела, Ірак

Ектопаразитарні членистоногі, які заселяють шкіру або пір'я птахів-господарів, використовують їх як притулок і джерело живлення, що суттєво впливає на здоров'я тварин і продуктивність. У цьому дослідженні вивчали поширеність, видову різноманітність та індекси інтенсивності ектопаразитів, які інвазують домашніх голубів (*Columba livia domestica*) у провінції Кербела, Ірак. Моніторинг проводили з січня по червень 2025 року в п'яти районах, що представляють північні, центральні та південні географічні зони. Загалом було придбано на місцевих ринках та клінічно обстежено 100 домашніх голубів, серед яких було 63 самці та 37 самок. Ектопаразитів збирали вручну, консервували у 70 %-му етиловому спирті, просвітлювали у 10 %-му розчині гідроксиду калію, монтували в канадський бальзам та ідентифікували за морфологічними ознаками під цифровим стереомікроскопом. Усього від 100 голубів було зібрано 481 ектопаразита, що засвідчило надзвичайно високу загальну поширеність інвазії на рівні 99 % за середнього показника ураженості 4,81 паразита на одного птаха. У структурі виявленого паразитоценозу ідентифіковано сім окремих видів пухоїдів, серед яких суттєво домінував *Campanulotes bidentatus* (54,89 %), на другому місці за чисельністю був *Hohorstiella lata* (23,91 %), на третьому – *Columbicola columbae* (17,26 %). Решта видів була представлена *Columbicola tschulyschman* (0,83 %), *Columbicola bidentatus* (0,42 %), *Myrsidea* sp. (2,49 %) та *Colpocephalum turbinatum* (0,21 %). Статистичний аналіз за допомогою критерію Хі-квадрат не виявив вірогідного зв'язку між поширеністю ектопаразитів та статтю господаря ($\chi^2 = 1,72$; $P = 0,19$). Поліінвазії (змішані інвазії) були дуже поширеними: 63 % голубів мали одночасно більше одного виду ектопаразитів, які розподілялися на моноінвазії (34 %), двокомпонентні (44 %) та трикомпонентні (19 %) інвазії. Розрахована середня інтенсивність варіювала залежно від виду паразитів, причому найвищі значення зафіксовано для *H. lata* (8,214) та *C. bidentatus* (6,947). Клінічно в інвазованих голубів відзначали незадовільний, скуйовджений стан пір'яного покриву та підвищену збудливість. Отримані результати свідчать про те, що домашні голуби в Кербелі слугують потужним резервуаром для різноманітних пухоїдів, що створює потенційні ризики передачі паразитів іншим видам птахів, зокрема комерційним. Відповідно, існує нагальна потреба в удосконаленні місцевих методів ведення голубівництва шляхом регулярного застосування ектопаразитицидів, покращення санітарного стану місць їх утримання та проведення періодичного моніторингу для забезпечення ефективного захисту здоров'я птахів у регіоні.

Ключові слова: пухоїди, ектопаразити, Ірак, поширеність, здоров'я голубів, *Columba livia domestica*.

Бібліографічний опис для цитування: Ялдрум А., Альбарзанджі Б. Ф., Сабер Д. Ф., Джавад М., Алілі Ф., Альхеснаві А. Ш. М. Дослідження ектопаразитів домашнього голуба (*Columba livia domestica*) у провінції Кербела, Ірак. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 173–179.



Introduction

Ectoparasites, especially chewing lice (Phthiraptera: Amblycera and Ischnocera), are among the most common parasites affecting pigeons worldwide. These organisms are obligate and permanent ectoparasites, completing their entire life cycle directly on the host. Infestations can cause severe irritation, feather destruction, anemia, reduced fitness, and impaired welfare, particularly under poor hygienic and suboptimal management conditions [1, 2].

Several chewing lice genera, including *Campanulotes*, *Hohorstiella*, and *Columbicola*, have been widely reported in pigeons across different geographical regions. The prevalence and intensity of these infestations are influenced by multiple factors, such as host age, sex, season, environmental conditions, and husbandry practices [3, 4]. Furthermore, domestic pigeons may act as reservoirs for ectoparasites that can readily spread to other avian species, including commercial poultry, thereby raising important economic and veterinary concerns [5, 6].

Avian hosts are seriously affected by ectoparasites, which are well-known to cause nuisance, anemia, and general debility. Many of these parasites play an important role as vectors in the transmission of a wide range of infectious diseases. Consequently, ectoparasitic infestations lead to slowed growth rates, emaciation, a loss in productivity, and increased susceptibility to other infectious illnesses. Moreover, the costs associated with treatment and prevention create a significant economic burden and might eventually result in a higher mortality rate among the pigeons [7, 8].

Several studies have documented a high prevalence of ectoparasitic infestations in domestic pigeons across Asia, Africa, and South America, often exceeding 70–100 % [9–13]. Mixed infestations involving multiple lice species are commonly reported, indicating favorable ecological conditions for parasite survival and transmission [8, 14]. Despite this global evidence, significant regional variations in parasite diversity and infestation patterns remain poorly understood, particularly in Middle Eastern countries.

In Iraq, information regarding the ectoparasites of domestic pigeons remains limited and fragmented, with most available studies restricted to specific localities or small sample sizes [15–17]. In Karbala Province, comprehensive and updated data on the prevalence, species composition, and infestation intensity of chewing lice in domestic pigeons are notably lacking, despite the widespread practice of pigeon keeping. Previous studies in the region have reported high infestation rates and the presence of multiple lice species, including newly recorded species in both domestic pigeons and migratory birds [18, 19], emphasizing the need for continued surveillance.

The aim of the study

Therefore, the present study aimed to investigate the prevalence, diversity, and infestation indices of ectoparasites affecting domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Karbala Province, Iraq. Understanding the

ectoparasite fauna and infestation dynamics is essential for improving pigeon health, developing effective local control strategies, and reducing the risk of parasite transmission to other avian hosts.

Materials and methods

Study location

The study was conducted in Karbala Governorate, a major city in central Iraq located approximately 100–105 km southwest of Baghdad, near the Euphrates River. Karbala serves as the administrative capital of the governorate. Five regions were randomly selected across three geographical zones of the governorate: the northern zone (Al-Hur and Al-Hussainiya), the central zone (Karbala city center), and the southern zone (Al-Hindiya and Ayn Tamr).

Study design and Collection

A multi-stage sampling strategy was used for bird sampling from five districts of Karbala Province, Iraq, extending from January 2025 till June 2025. Five sites were selected from each district for bird sampling. The sites selected for rock pigeon sampling included urban areas, agricultural areas, industrial areas, and rural areas. Three birds were purchased from different markets resulting in collected samples from each district, with a total of 100 birds from five districts. Data related to health status (healthy/weak) and sex (male/female) were also recorded [20].

Ectoparasites identification

The live birds were examined using the naked eye for the collection and quantification of ectoparasite loads by following the methods previously described [21]. The chewing lice were collected using forceps and placed in capped tubes containing 70 % ethyl alcohol, with the tubes numbered to match the corresponding bird. Next, the lice were transferred to a 10 % potassium hydroxide (KOH) solution and kept for 24–48 hours until they became transparent. Then, they were washed with distilled water, passed through a graded alcohol series of 70–99 %, and mounted onto slides using Canada balsam.

The specimens were examined under a microscope [21], followed by their identification based on morphological characteristics using established identification keys [20] under a stereomicroscope (×400: Dino-Lite USB Digital Microscope AM7115MZT, magnification: 10×–220×, resolution: 5.0 Megapixels).

Statistical analysis

The resulting data were analyzed using the SPSS statistical software (version 20). The prevalence, health status in relation to sex, intensity, mean abundance, relative abundance, and mean intensity with standard error were described.

Results and discussion

A total of 100 pigeons were examined (63 males and 37 females). The overall prevalence of ectoparasite infection was 99 %, with 99 birds found infected and only

1 bird uninfected. The types of ectoparasites identified are *Campanulotes bidentatus*, *Colpocephalum turbinatum*, *Columbicola bidentatus*, *Columbicola columbae*, *Columbicola tschulyschman*, *Hohorstiella lata*, and *Myrsidea* sp. Male pigeons showed a prevalence of 100 % (63/63), whereas females recorded 97.3 % (36/37).

The associations between parasitic prevalence and different factors (health status, sex) were determined using the Chi-square test with the help of SPSS Version 20.0. The level of significance was set at $P \leq 0.05$. The chi-square test showed no statistically significant association between infection status and sex ($\chi^2 = 1.72$; P-value = 0.19), as detailed in **Table 1**.

Table 1

Prevalence of ectoparasitic infestation in domestic pigeons based on host sex

Host Infection Status	Male (n=63)	Female (n=37)	Total (n=100)
<i>Infected</i>			
- Number of birds	63	36	99
- Proportion (%)	63.60	36.40	100.00
<i>Non-infected</i>			
- Number of birds	0	1	1
- Proportion (%)	0.00	100.00	100.00
<i>Total</i>			
- Number of birds	63	37	100
- Proportion (%)	63.00	37.00	100.00
Statistical Analysis	$\chi^2 = 1.72$	P-value = 0.19	

Mean Parasite Abundance and Infestation Structure were comprehensively evaluated. A total of 481 ectoparasites were collected from the 100 examined

pigeons, giving an overall mean abundance of 4.81 parasites/bird. Multiple-species infestations were highly common among the sampled population, with 63 % of the birds harboring more than one ectoparasite species simultaneously. The complete breakdown of the infestation characteristics, including single, double, and triple infection rates, is consolidated in **Table 2**.

Table 2

General characteristics and structure of ectoparasitic infestation in domestic pigeons (n=100)

Epizootic Parameter	Value / Distribution
Total number of collected parasites	481
Overall mean abundance (parasites/bird)	4.81
Infestation type distribution:	
- Single infection	34%
- Double infection	44%
- Triple infection	19%
Multiple-species infestation rate (≥ 2 species)	63%

Regarding the Parasite Species Composition, seven ectoparasite species were identified. *C. bidentatus* was the most prevalent species (54.89 %), followed by *H. lata* (23.91 %) and *C. columbae* (17.26 %). Complete data regarding the number and prevalence of ectoparasites by host sex are presented in **Table 3**.

The epizootic indices calculated for each isolated chewing lice species are displayed in **Table 4**. The overall mean intensity reached 4.859 ± 0.371 parasites per infested bird. The highest mean intensity levels were recorded for *H. lata* (8.214) and *C. bidentatus* (6.947).

Table 3

Species composition, abundance, and sex-based distribution of ectoparasites collected from domestic pigeons

No	Parasite type	Male (No)	%	Female (No)	%	Total (No)	%
1	<i>Campanulotes bidentatus</i>	127	53.59	137	56.15	264	54.89
2	<i>Colpocephalum turbinatum</i>	1	0.42	0	0.00	1	0.21
3	<i>Columbicola bidentatus</i>	2	0.84	0	0.00	2	0.42
4	<i>Columbicola columbae</i>	30	12.66	53	21.72	83	17.26
5	<i>Columbicola tschulyschman</i>	3	1.27	1	0.41	4	0.83
6	<i>Hohorstiella lata</i>	64	27.00	51	20.90	115	23.91
7	<i>Myrsidea</i> sp.	10	4.22	2	0.82	12	2.49
	Total	237	100	244	100	481	100

Table 4

Epizootiologic indices and infestation intensity of identified ectoparasite species

No	Parasite Type	Total Parasites	Infected Hosts	Relative Abundance (%)	Mean Intensity $\pm$ SE
1	<i>Campanulotes bidentatus</i>	264	38	54.89	6.947 ± 0.520
2	<i>Colpocephalum turbinatum</i>	1	1	0.21	1.000 ± 0.200
3	<i>Columbicola bidentatus</i>	2	2	0.42	1.000 ± 0.141
4	<i>Columbicola columbae</i>	83	40	17.26	2.075 ± 0.195
5	<i>Columbicola tschulyschman</i>	4	2	0.83	2.000 ± 0.235
6	<i>Hohorstiella lata</i>	115	14	23.91	8.214 ± 0.318
7	<i>Myrsidea</i> sp.	12	2	2.49	6.000 ± 0.370
	Total	481	99	100	4.859 ± 0.371

The taxonomic verification of the recovered lice communities was supported by digital microscopy. Key diagnostic structures and gender-specific traits of *H. lata* are illustrated in **Figure 1**, showcasing distinct morphological differences between the male and female specimens.

Similarly, the most dominant chewing louse found in this study, *C. bidentatus*, was morphologically analyzed

to confirm identification. **Figure 2** illustrates the visual documentation of both male and female structures for this species.

Furthermore, representatives of the genus *Columbicola* were verified, with *Columbicola columbae* being heavily represented. The typical elongated body contours and sexual dimorphism traits of *Columbicola columbae* are captured in **Figure 3**.

The relatively rare species *Colpocephalum turbinatum* was also morphologically assessed, with its distinctive body markers and specialized structures for both female and male specimens depicted in **Figure 4**.

Additionally, another species of the same genus, *Columbicola tschulyschman*, was morphologically examined. The distinct visual profiles and gender-specific

traits of both male and female individuals of *Columbicola tschulyschman* are documented in **Figure 5**.

Finally, the recovered specimens of *Myrsidea* sp. were analyzed under the Dino-Lite digital microscope, showing characteristic broad abdominal segments. The specific appearance of the male and female individuals is detailed in **Figure 6**.



Figure 1. Morphological features of *Hohorstiella lata* collected from domestic pigeons in Karbala Province, Iraq: A – male; B – female. Scale bar = 0.500 mm.

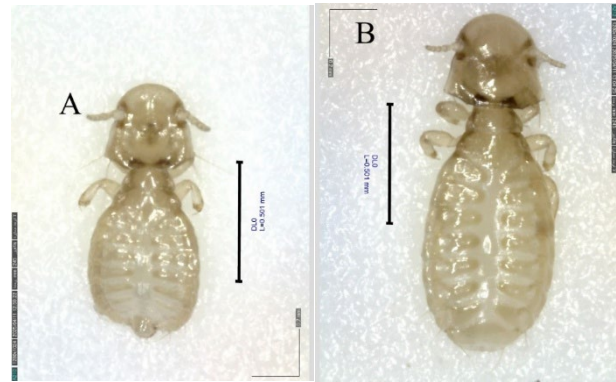


Figure 2. Morphological features of *Campanulotes bidentatus* collected from domestic pigeons in Karbala Province, Iraq: A – male; B – female. Scale bar = 0.501 mm.



Figure 3. Morphological features of *Columbicola columbae* collected from domestic pigeons in Karbala Province, Iraq: A – male; B – female. Scale bar = 0.501 mm.



Figure 4. Morphological features of *Columbicola turbinatum* collected from domestic pigeons in Karbala Province, Iraq: A – female (Scale bar = 0.900 mm); B – male (Scale bar = 1.002 mm).

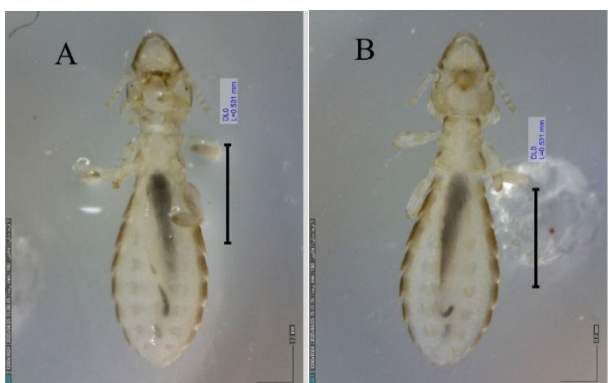


Figure 5. Morphological features of *Columbicola tschulyschman* collected from domestic pigeons in Karbala Province, Iraq: A – male (Scale bar = 0.531 mm); B – female (Scale bar = 0.531 mm).

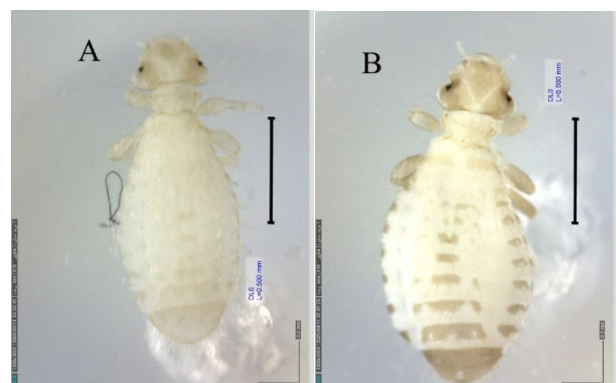


Figure 6. Morphological features of *Myrsidea* sp. collected from domestic pigeons in Karbala Province, Iraq: A – male (Scale bar = 0.531 mm); B – female (Scale bar = 0.500 mm).

Chewing lice (Phthiraptera: Ischnocera and Amblycera) are permanent, obligate, and host-specific ectoparasites commonly found in birds [19]. The current study revealed a very high prevalence of ectoparasitic infestation (99 %) among domestic pigeons in Karbala Province, Iraq, as summarized in **Table 1**. This level of infestation is consistent with the range reported in several regional and international studies, confirming that pigeons serve as important reservoirs for diverse ectoparasite communities. Similar high prevalence has been documented in Pakistan (90.5 %) [3], Iran (86.85 %) [7], and Egypt (100 %) [12]. Such persistently high rates imply that lice and other ectoparasites find favourable habitats in pigeon husbandry practices, dense populations, untreated conditions, and environmental factors.

In contrast, the current study referred to high prevalence in domestic pigeons which characterized by preening ability in a captive population that were infested with *Columbicola columbae* or *Campanulotes bidentatus* or both, and the prevalence of lice could preen normally decreased by 50 %. These data indicate the possibility for birds to clear themselves of feather lice, and perhaps other ectoparasites, by preening due to birds spend more time preening than wild birds, and less likely than wild birds to be reinfested [22].

Although infection prevalence in the current study was high across both sexes, the statistical analysis indicated no significant association between sex and infection status ($P = 0.19$). This finding is in agreement with studies conducted in Bursa province, Turkey [23] and Nigeria [6], which also reported no sex-related differences. However, some studies have shown higher prevalence in females [4] or males [11], implying that regional variations in the environment, size of samples, behaviour, or physiology may be responsible for sex-based differences.

The total parasite load (481 parasites) and mean abundance (4.81 parasites/bird) observed in this study reflect a moderate but widespread level of infestation, with the full structural breakdown of these metrics detailed in **Table 2**. Within this population, single infection was found in 34 % of birds, double infection in 44 %, and triple infection in 19 %. The presence of double and triple infestations further highlights the complexity of lice community structure on pigeons [24, 25]. Multiple infections were common, with 63 % of birds harboring more than one ectoparasite species. Such co-infections are well documented and may arise from shared microhabitats on the plumage, host overcrowding, and poor hygiene [14, 24].

The dominant parasite species identified in the collected population was *Campanulotes bidentatus*, representing 54.89 % of the total ectoparasite population, as documented in **Table 3**. A similar dominance of *Campanulotes* spp. has been reported in Iraq [17], Pakistan [3], and Egypt [12]. This species' success may be linked to its strong host specificity, efficient reproductive capability, and ability to utilize various feather regions. The second most abundant species, *Hohorstiella lata* (23.91 %), has also been frequently recorded in regional surveys [16, 18],

indicating that it has adapted well to the pigeon populations in the area. *Columbicola columbae* accounted for 17.26 % of the total count, which is highly consistent with its role as one of the most globally common pigeon lice [1, 26].

Mean intensity values varied significantly among the recovered species, as shown in **Table 4**, with *Hohorstiella lata* displaying the highest mean intensity (8.214), followed by *Campanulotes bidentatus* (6.947). High intensity levels indicate strong population establishment in infested hosts and may contribute to clinical effects such as feather damage, irritation, weight loss, and reduced productivity [24, 27]. The lower intensities observed for *Columbicola tschulyschman*, *Columbicola bidentatus*, and *Colpocephalum turbinatum* reflect their relatively rare occurrence in the studied population, consistent with previous reports describing these species as less common or opportunistic components of the avian ectoparasite fauna [20, 26].

The predominance of chewing lice (Ischnocera and Amblycera) aligns with global patterns in pigeon ectoparasitism, as these lice possess strong host specificity and spend their entire life cycle on the host. Their feeding on feathers and skin debris can lead to irritation, restlessness, and decreased fitness, especially in young or nutritionally stressed birds [1, 22]. The high mixed-infestation rate observed in the present study may further contribute to compounded pathological effects, as demonstrated in similar studies [12, 25].

Overall, this study's high frequency, varied ectoparasite community, and notable intensities highlight the necessity of better domestic pigeon management and control initiatives in Karbala Province. To lower infestation pressure, it is crucial to apply ectoparasiticides on a regular basis, maintain better loft hygiene, and conduct periodic surveillance. Moreover, given the potential of pigeons to act as reservoirs for parasitic infections that may affect other bird species, including poultry, effective control strategies will also have broader implications for local avian health.

Conclusions

The present study demonstrates that domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Karbala Province, Iraq, are heavily infested with a diverse community of ectoparasites, with an overall infection rate of 99 % and a total collection of 481 parasites (mean abundance: 4.81 parasites/bird). This indicates that all pigeons within the study area are equally susceptible regardless of sex ($\chi^2 = 1.72$; $P = 0.19$). Among the seven chewing lice species identified, *Campanulotes bidentatus* was highly dominant (54.89 %), followed by *Hohorstiella lata* (23.91 %) and *Columbicola columbae* (17.26 %). Furthermore, multiple-species infestations were remarkably common, affecting 63 % of the birds. Considering the role of pigeons as potential reservoirs for ectoparasites, there is an urgent need to improve pigeon management practices, including the regular application of ectoparasiticides, enhanced loft hygiene, and continuous monitoring to reduce the burden of infestation.

DECLARATIONS

Ethical Statement

The authors declare that all experimental procedures involving live birds in this study fully comply with generally accepted norms of humane treatment of animals and the principles of bioethics. The experimental parts of the work were performed in strict accordance with the national legislation of Iraq and the guidelines of the Institutional Ethics Committee of the College of Veterinary Medicine, University of Kerbala, under the official approval number: UOK.VET.MI.2025.124. During the investigation, all domestic pigeons (*Columba livia domestica*) were handled humanely, and the birds were provided with appropriate monitoring and care, alongside the complete minimization of any stress, pain, or discomfort factors during the collection of ectoparasites.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Clayton, D. H., Bush, S. E., & Johnson, K. P. (2015). *Coevolution of life on hosts: Integrating ecology and history*. The University of Chicago Press.
2. Baldwin-Brown, J. G., Villa, S. M., Vickrey, A. I., Johnson, K. P., Bush, S. E., Clayton, D. H., & Shapiro, M. D. (2021). The assembled and annotated genome of the pigeon louse *Columbicola columbae*, a model ectoparasite. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 11 (2). <https://doi.org/10.1093/g3journal/jkab009>
3. Ahmed, H., Naz, M., Mustafa, I., Khan, M. R., Asif, S., Afzal, M. S., Arshad, M., Naveed, M., Ali, S., & Simsek, S. (2017). Impact of epidemiological factors on the prevalence, intensity and distribution of ectoparasites in pigeons. *Journal of Parasitic Diseases*, 41 (4), 1074–1081. <https://doi.org/10.1007/s12639-017-0936-0>
4. Tayyub, M., Ali, S., Javid, A., & Imran, M. (2023). Prevalence and diversity of ectoparasites in wild rock pigeon (*Columba livia*) in Punjab region, Pakistan. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e246887. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.246887>
5. Ali, M., Ibrahim, R., Alahmadi, S., & Elshazly, H. (2020). Ectoparasites and intestinal helminths of pigeons in Medina, Saudi Arabia. *The Journal of Parasitology*, 106 (6), 721–729. <https://doi.org/10.1645/20-64>
6. Nwadike, C. C., Agbata, D. O., Okeke, J. J., Okeke, O. A., Nnatuanya, I. O., Afoezie, P. I., Udeh, N. P., & Irikannu, K. C. (2023). Ectoparasites and gastrointestinal helminth of domestic pigeons in Awka, southeastern Nigeria. *The Bioscientist Journal*, 11 (1), 1–7. https://bioscientistjournal.com/index.php/The_Bioscientist/article/view/132
7. Jahantigh, M., Esmailzade dizaji, R., & Teymoori, Y. (2015). Prevalence of external parasites of pigeon in Zabol, southeast of Iran. *Journal of Parasitic Diseases*, 40 (4), 1548–1551. <https://doi.org/10.1007/s12639-015-0725-6>
8. Ekinci, A., İpek, D. N. S., & İcen, H. (2024). Ectoparasites of domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Diyarbakir province in Türkiye. *Advances in Biology & Earth Sciences*, 9, 53–57. <https://doi.org/10.62476/abes9s53>
9. Rezaei, F., Hashemnia, M., Chalechale, A., Seidi, S., & Gholizadeh, M. (2014). Prevalence of ectoparasites in free-range backyard chickens, domestic pigeons (*Columba livia domestica*) and turkeys of Kermanshah province, west of Iran. *Journal of Parasitic Diseases*, 40 (2), 448–453. <https://doi.org/10.1007/s12639-014-0524-5>
10. Saikia, M., Bhattacharjee, K., Sarmah, P. C., Deka, D. K., & Mushahary, D. (2017). Prevalence of ectoparasitic infestation of pigeon (*Columba livia domestica*) in Assam, India. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 5 (4), 1286–1288. https://www.entomoljournal.com/archives/2017/vol5issue4/Part_Q/5-3-314-675.pdf
11. Castro, J., Naupay, A., Orozco, K., Rodriguez, S., Diaz, Y., Navarro, J., & Purca, N. (2018). Ectoparasitos de *Columba livia* Linnaeus, 1758 (Aves: Columbiformes) del distrito de Carmen de La Legua, Callao, Perú. *The Biologist*, 15 (2), 425–435. <https://doi.org/10.24039/rb2017152200>
12. Adly, E., Nasser, M., Soliman, D. E., AlAshaal, S. A., Kenawy, M. A., Gustafsson, D. R., Alghamdi, K. M., & Shehata, M. (2020). Analysis of phoretic relation between chewing lice and hippoboscids flies of *Columba livia*. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 22, 100496. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100496>
13. Hernández-Martínez, M. C., Parra-Arango, J. L., Góngora-Orjuela, A., Walteros-Casas, H. A., & Chaparro-Gutiérrez, J. J. (2021). Identificación de ecto y endoparásitos en palomas domésticas (*Columba livia*) del área urbana de Villavicencio, Meta, Colombia. *Revista MVZ Córdoba*, 26 (3), e2157. <https://doi.org/10.21897/rmvz.2157>
14. Elmacioğlu, S., Yaman, M., Zerek, A., Akkütük, Ş., Karagöz, M., & Erdem, İ. (2018). Ectoparasites of domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Antakya region. *Turkish Journal of Veterinary Research*, 2 (2), 23–27. <https://dergipark.org.tr/en/pub/tjvr/article/431009>
15. Abdullah, S., Mohammed, A., & Saeid, N. (2018). Study of ecto and haemo parasites in domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Sulaimani province, Kurdistan region/Iraq. *Journal of Zankoy Sulaimani - Part A*, 20 (1), 37–44. <https://doi.org/10.17656/jzs.10640>
16. Issa, A. R., Mero, W. M. S., Hasan, D. L., & Hameed, M. A. (2021). The prevalence of parasites in the domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Zakho City, Kurdistan-Iraq. *Baghdad Science Journal*, 18 (2), 0210. <https://doi.org/10.21123/bsj.2021.18.2.0210>
17. Al-Badrani, M. A., & Al-Muffti, S. A. (2023). Survey and prevalence of lice infestation the pigeons (*Columba livia domestica*) in Kurdistan Region-Iraq. *Rafidain Journal of Science*, 32 (1), 1–8. <https://doi.org/10.33899/rjs.2023.177282>
18. Alali, F., Alhaitami, I., Jawad, R. A., & Jawad, M. (2020). Identification of two new species of chewing lice in pigeon (*Columba livia domestica*) in Kerbala Province, Iraq. *AIP Conference Proceedings*, 2290 (1), 020037. <https://doi.org/10.1063/5.0027457>
19. Jassem, M. I., Alali, F. A., Al-Ashbal, H. N., Jawad, M. H., & Alhesnawi, A. Sh. (2023). Prevalence of chewing lice species on migratory birds in Razzaza lake. *Iraqi Journal of Veterinary Sciences*, 37 (2), 479–485. <https://doi.org/10.33899/ijvs.2022.134464.2434>
20. Adams, R. J., Price, R. D., & Clayton, D. H. (2005). Taxonomic revision of Old World members of the feather louse genus *Columbicola* (Phthiraptera: Ischnocera), including descriptions of eight new species. *Journal of Natural History*, 39 (41), 3545–3618. <https://doi.org/10.1080/00222930500393368>
21. Dik, B., & Kandir, E. H. (2021). Ectoparasites in some wild birds (Aves) in Turkey. *Progress in Nutrition*, 23 (Supplement 2), e2021261.
22. Bush, S. E., & Clayton, D. H. (2023). Does Preening behavior reduce the prevalence of avian feather lice (Phthiraptera: Ischnocera)? *Journal of Parasitology*, 109 (3), 145–147. <https://doi.org/10.1645/23-2>
23. Şenlik, B., Güleğen, E., & Akyol, V. (2005). Ectoparasites of domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Bursa province. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 29 (2), 100–102.

24. Salem, H. M., Yehia, N., Al-Otaibi, S., El-Shehawi, A. M., Elrys, A. A. M. E., El-Saadony, M. T., & Attia, M. M. (2022). The prevalence and intensity of external parasites in domestic pigeons (*Columba livia domestica*) in Egypt with special reference to the role of deltamethrin as insecticidal agent. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29 (3), 1825–1831. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.10.042>
25. Hatem, A. N. (2025). Some aspects of infestation of chewing lice parasitizing chickens and pigeons in Basrah Province, Iraq. *Basrah Journal of Veterinary Research*, 24 (2), 46–58. <https://doi.org/10.23975/bjvr.2025.158646.1210>
26. Eren, G., Özkoç, Ö. Ü., & Açıci, M. (2022). Contributions to the knowledge of the diversity of the chewing lice fauna in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 46 (6), 444–455. <https://doi.org/10.55730/1300-0179.3099>
27. Musa, S., Afroz, S. D., & Khanum, H. (2012). Occurrence of ecto- and endo parasites in pigeon (*Columba livia* Linn.). *University Journal of Zoology, Rajshahi University*, 30, 73–75. <https://doi.org/10.3329/ujzru.v30i0.10758>

ORCID

- | | |
|---|---|
| A. Yaldrum  | https://orcid.org/0009-0005-3127-675X |
| B. F. Albarzanji  | https://orcid.org/0009-0005-5390-5641 |
| D. F. Saber  | https://orcid.org/0009-0008-9580-7005 |
| M. Jawad  | https://orcid.org/0000-0003-2927-9220 |
| F. Alali  | https://orcid.org/0000-0002-3438-6453 |
| A. Sh. M. Alhesnawi  | https://orcid.org/0000-0003-4172-581X |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Ecological determinants of bee pollen quality in Ukraine

S. Furman¹✉ | L. Adamchuk² | J. Brindza³ | D. Lisohurska¹ | O. Lisohurska¹ | I. Ivanova⁴

Article info

Correspondence Author

S. Furman

E-mail:

svitlana.furman@ukr.net

¹ Polissia National University,
Zhytomyr,
7 Staryi Boulevard, Zhytomyr,
10008, Ukraine² Institute of Veterinary Medicine
of the National Academy of
Agrarian Sciences of Ukraine,
30 Donetska Street, Kyiv, 03151,
Ukraine³ Slovak University of Agriculture
in Nitra,
Trieda Andreja Hlinku 2, 949 76
Nitra, Slovakia⁴ Tavria State Agrotechnological
University,
Zhukovsky Str., 66, Zaporizhzhia,
69000, Ukraine**Citation:** Furman, S., Adamchuk, L., Brindza, J., Lisohurska, D., Lisohurska, O., & Ivanova, I. (2026). Ecological determinants of bee pollen quality in Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 180–186. doi: 10.31210/spi2026.29.01.29

The article presents the results of monitoring the organoleptic and physicochemical indicators of bee-collected pollen depending on the natural and climatic conditions of Ukraine. The research material consisted of 126 samples of bee-collected pollen collected from regions representing Polissia, the Forest-Steppe, the Steppe, and the Ukrainian Carpathians. Quality assessment was carried out in accordance with the requirements of DSTU 3127–95, taking into account the provisions of the international standard ISO 24382:2023 and applying methods of variation statistics (all differences were considered statistically significant at $p < 0.05$). It was established that 100 % of the examined samples complied with the regulatory requirements for organoleptic characteristics (external appearance, color, taste, specific odor, and consistency of granules with a mass of 5–20 mg). The moisture content of bee-collected pollen from all natural and climatic zones did not exceed the maximum permissible level of 10 %; however, the highest mean values were recorded in the Polissia (9.01 %) and Steppe (8.97 %) zones. In the Forest-Steppe and Carpathian zones, a lower mean moisture content was recorded – 8.52 % and 8.55 %, respectively. Analysis of active acidity revealed clear interzonal differences: the lowest pH values were characteristic of the Forest-Steppe zone (4.82), while in the Steppe zone, the indicator was 4.96. In the Polissia (5.08 %) and Carpathian (5.17) zones, the parameter approached the maximum permissible level ($pH \leq 5.3$), creating a potential risk of reduced microbiological stability in individual product batches. Overall across Ukraine, the mean active acidity value was 5.01, and 7–9 % of the examined samples failed to comply with the regulatory requirements for the pH parameter (having $pH > 5.3$). The crude protein content depended significantly on the natural and climatic zone of pollen origin and was characterized by substantial inter- and intrazonal variability. The lowest mean protein values were established in the Polissia zone (16.4 %), and the highest – in the Forest-Steppe zone (26.8 %), reflecting the influence of the botanical composition of pollen, agroecological conditions, and the diversity of pollen resources. In the Steppe zone, the crude protein content was 19.3 %, and in the Carpathian zone – 23.1 %. On average across Ukraine, the crude protein content was 21.5 %, which corresponds to literature data, but a significant proportion of samples, especially from Polissia and the Steppe, did not reach the minimum regulatory values of DSTU. The obtained results confirm the appropriateness of a zonal approach to assessing the quality and nutritional value of bee-collected pollen and indicate the decisive role of technological factors of post-harvest processing in ensuring its compliance with standards. Comprehensive monitoring of physicochemical parameters combined with the harmonization of national requirements with international standards is a necessary condition for increasing the competitiveness of Ukrainian bee-collected pollen.

Keywords: bee-collected pollen, natural and climatic zones, moisture content, active acidity (pH), crude protein, organoleptic characteristics.

Екологічні детермінанти якості бджолиного обніжжя в Україні

С. В. Фурман¹ | Л. О. Адамчук² | Я. Бріндза³ | Д. В. Лісогурська¹ | О. В. Лісогурська¹ | І. Є. Іванова⁴¹ Поліський національний
університет,
м. Житомир, Україна² Інститут ветеринарної
медицини Національної академії
аграрних наук України,
м. Київ, Україна³ Словацький
сільськогосподарський
університет у Нітрі, Нітра,
Словацьчина⁴ Таврійський державний
агротехнологічний
університет імені Дмитра
Моторного,
м. Запоріжжя, Україна

У статті наведено результати моніторингу органолептичних і фізико-хімічних показників бджолиного обніжжя залежно від природно-кліматичних умов України. Матеріалом дослідження слугували 126 проб бджолиного обніжжя, відібраних у регіонах, що репрезентують Полісся, Лісостеп, Степ та Українські Карпати. Оцінювання якості здійснювали відповідно до вимог ДСТУ 3127–95 із урахуванням положень міжнародного стандарту ISO 24382:2023 та застосуванням методів варіаційної статистики (усі відмінності вважали статистично значущими при $p < 0,05$). Встановлено, що 100 % досліджених зразків відповідали нормативним вимогам за органолептичними показниками (зовнішній вигляд, колір, смак, специфічний запах та консистенція гранул масою 5–20 мг). Масова частка води у бджолиному обніжжі всіх природно-кліматичних зон не перевищувала гранично допустимого рівня у 10 %, проте найвищі середні значення зафіксовано у Поліській (9,01 %) та Степовій (8,97 %) зонах. У Лісостеповій та Карпатській зонах зафіксовано нижчий середній вміст вологи – 8,52 % та 8,55 % відповідно. Аналіз активної кислотності виявив чіткі міжзональні відмінності: найнижчі значення pH характерні для Лісостепової зони (4,82), тоді як у Степу показник становив 4,96. У Поліській (5,08) та Карпатській (5,17) зонах показник наближався до гранично допустимого рівня ($pH \leq 5,3$), формуючи потенційний ризик зниження мікробіологічної стабільності окремих партій продукції. У цілому по Україні середнє значення активної кислотності становило 5,01, а 7–9 % досліджених зразків не відповідали нормативним вимогам за показником pH (мали значення $pH > 5,3$). Масова частка сирого протеїну істотно залежала від природно-кліматичної зони походження обніжжя та характеризувалася значною між- і внутрішньозональною варіабельністю. Найнижчі середні значення протеїну встановлено у Поліській зоні (16,4 %), найвищі – у Лісостеповій (26,8 %), що відображає вплив ботанічного складу пилку, агроекологічних умов і різноманіття пилкових ресурсів. У Степовій зоні вміст сирого протеїну становив 19,3 %, а в Карпатській – 23,1 %. У середньому по Україні вміст сирого протеїну становив 21,5 %, що відповідає літературним даним, проте істотна частка зразків, особливо з Полісся та Степу, не досягала мінімальних нормативних значень ДСТУ. Отримані результати підтверджують доцільність зонального підходу до оцінювання якості та поживної цінності бджолиного обніжжя і свідчать про визначальну роль технологічних чинників післязбиральної обробки у забезпеченні його відповідності стандартам. Комплексний моніторинг фізико-хімічних показників у поєднанні з гармонізацією національних вимог із міжнародними стандартами є необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності українського бджолиного обніжжя.

Ключові слова: бджолине обніжжя, природно-кліматичні зони, масова частка води, активна кислотність (pH), сирий протеїн, органолептичні показники.

Бібліографічний опис для цитування: Фурман С. В., Адамчук Л. О., Бріндза Я., Лісогурська Д. В., Лісогурська О. В., Іванова І. Є. Екологічні детермінанти якості бджолиного обніжжя в Україні. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 180–186.

Introduction

Bee-collected pollen is one of the most valuable apicultural products and is widely used in human nutrition. Its high content of proteins, essential amino acids, lipids, vitamins, mineral elements, and biologically active compounds determines its significant functional potential and the growing demand in both domestic and international markets [1].

The regulatory framework for quality control of bee-collected pollen in Ukraine is based on the national standard DSTU 3127-95 “Bee pollen (flower pollen) and its mixtures. Technical specifications” [2], which establishes requirements for organoleptic, physicochemical, and microbiological parameters, as well as rules for sampling and control methods. In parallel, at the international level, ISO 24382:2023 “Bee pollen – Specifications” [3] has been introduced, setting unified approaches to assessing the quality and safety of bee-collected pollen, taking into account its natural variability and the requirements of international trade. Harmonization of national research with the provisions of international standards is a necessary prerequisite for ensuring the comparability of results and enhancing the competitiveness of products.

In the context of environmental safety, studies on the effects of pesticides on bees and apicultural products are particularly relevant. Omelchun et al. (2025) [4] analyzed the impact of pesticides on the mortality of honey bees (*Apis mellifera*) and their ability to persist for prolonged periods in apicultural products, particularly honey. The authors demonstrated that chronic exposure of bees to agrochemicals is systemic in nature and is associated both with reduced colony viability and with risks to the safety of products produced by bees.

An equally important factor is the availability and diversity of pollen resources for bees, which determines the stability of bee-collected pollen formation in terms of nutritional characteristics, including protein content, amino acid composition, lipid profile, and bioactive compounds [5, 6].

The nutritional and biological value of bee-collected pollen was emphasized in the study by Klym et al. (2023) [7], which substantiated the prospects of its use in animal husbandry. The authors focused on the high protein content and the presence of essential amino acids, fatty acids, vitamins, and microelements that determine the functional value of the product. It is also important that this value is largely determined by the botanical origin and harvesting conditions, and therefore requires clearly defined regulatory control criteria and unified assessment methods.

Fundamental approaches to the assessment of the nutritional value of bee-collected pollen are presented in the works of researchers [8, 9]. These studies systematized the understanding of pollen as the primary source of proteins, lipids, vitamins, and minerals required for brood development, emphasizing that the evaluation of pollen quality cannot be reduced to a single indicator. The authors [9] highlighted a key methodological issue: different analytical approaches to the determination of protein and lipid content may yield systematically

divergent results, which complicates the comparability of data across studies. The unification of analytical approaches proposed by the researchers is therefore of particular importance for investigations of bee-collected pollen.

A separate research direction involves the use of morphological characteristics of bee-collected pollen to assess its authenticity and technological quality. Researchers [10] demonstrated that monofloral bee-collected pollen of *Brassica napus* L. is characterized by high morphological uniformity and stable morphometric parameters of pollen pellets, which can be used as an additional criterion for batch quality control. This approach is consistent with primary quality control practices, where organoleptic and morphological characteristics (pellet shape, uniformity, color) serve as the first indicators of technological stability and the absence of foreign impurities.

Modern tools for advanced quality and authenticity control of bee-collected pollen are summarized in the works of researchers [11–13].

Bee-collected pollen quality is largely determined by its botanical origin, which influences the morphological characteristics of pollen pellets, their physicochemical properties, and biochemical composition [14].

Researchers [15] substantiated the concept of the protein-to-lipid ratio in pollen as a key indicator of the nutritional value of floral resources for bees and an important factor shaping their foraging preferences. The study results indicate that the protein-to-lipid ratio is an informative parameter that is relatively stable with respect to pollen collection and sample preparation methods. The authors emphasize the necessity of using unified analytical protocols to ensure correct comparison of the nutritional value of pollen of different botanical origins.

In study [16], the technological and organizational features of bee-collected pollen production under the conditions of the Forest-Steppe zone of Ukraine are examined, which is directly related to the subject of the present article. The authors demonstrated that natural and climatic conditions, as well as the structure of melliferous and pollen-bearing flora, determine the intensity of pollen collection, its morphological characteristics, and potential nutritional value. The importance of pollen trap usage regimes and sampling periods for obtaining high-quality raw material without adverse effects on the condition of honey bee colonies was substantiated. The conclusions obtained provide a theoretical and methodological basis for further research into the quality indicators of bee-collected pollen depending on natural and climatic conditions, which is fully consistent with the aim and objectives of the present scientific study.

Conducted in-depth studies of bee pollen demonstrate a complex relationship between its morphological characteristics, the level of contamination, and biological value, as confirmed by the results of contemporary scientific research [17–20].

A key element in ensuring the quality of bee-collected pollen is the availability of clear regulatory requirements and standardized control methods. In national practice, the basic regulatory document is DSTU 3127-95 “Bee pollen (flower pollen) and its mixtures. Technical

specifications” [2], which defines terminology, classification, quality requirements, sampling rules, control methods, as well as conditions for packaging, labeling, transportation, and storage.

Importantly, DSTU has an applied character and is oriented toward product control on the domestic market; therefore, it provides detailed regulation of primary batch acceptance criteria, including appearance (granulated form), absence of spoilage signs, conformity of color to botanical origin, and a characteristic odor and taste without foreign off-flavors. Specific requirements are aimed at minimizing technological risks – primarily those related to moisture content and secondary rehydration – which determine the microbiological stability of the product during storage. At the international level, a unified framework for the assessment of bee-collected pollen quality is provided by ISO 24382:2023 “Bee pollen-Specifications” [3]. Unlike DSTU, which is historically oriented toward the domestic market and has a long tradition of application in Ukraine, ISO adopts a harmonized approach aimed at international trade. The standard defines terminology, scope of application, general requirements for quality and safety, as well as approaches to labeling, packaging, transportation, and storage of bee-collected pollen.

Thus, the literature analysis indicates that the formation of high-quality bee-collected pollen is determined by a complex of ecological, botanical, technological, and regulatory factors. Studies addressing the risks of pesticide exposure confirm the need to strengthen safety control, while research on the forage base and nutritional ecology of bees substantiates the variability of the nutritional composition of bee-collected pollen depending on its botanical origin. At the same time, the standards DSTU 3127-95 and ISO 24382:2023 establish a regulatory framework for the comparability of results and for ensuring the reproducibility of laboratory studies, which is critically important when assessing the nutritional value, safety, and authenticity of bee-collected pollen of different origins [2, 3].

The aim of the study

The purpose of the study is to monitor the quality indicators of bee-collected pollen depending on the natural and climatic conditions of Ukraine.

Materials and methods

The research material consisted of samples of bee-collected pollen collected from different regions of Ukraine representing the main natural and climatic zones – Polissia, the Forest-Steppe, the Steppe, and the Ukrainian Carpathians. Such spatial representativeness made it possible to account for the influence of environmental conditions, the floristic composition of melliferous vegetation, and regional beekeeping practices on the formation of quality characteristics of bee-collected pollen.

Sampling was carried out in accordance with the requirements of the current standard, which regulates the procedures for sample collection, preparation, and quality

assessment of products. Bee-collected pollen samples were obtained during specialized beekeeping events where products from different regions of Ukraine were represented, ensuring the representativeness of the sample set and the diversity of botanical origins of the samples.

Prior to laboratory analyses, all samples underwent preliminary visual inspection and sorting in order to detect mechanical impurities and assess the integrity of pollen pellets. Sample storage was carried out in hermetically sealed containers under conditions that prevented secondary moisture uptake, the development of microbiological processes, and deterioration of the organoleptic properties of the product.

Organoleptic analyses were carried out in accordance with the requirements of the standard. During the assessment, the external appearance and consistency of pollen pellets, uniformity and color characteristics, intensity and specificity of odor, taste properties, as well as the presence of damage by harmful insects and signs of fermentation were evaluated. Organoleptic assessment served as the primary stage of quality control and as the basis for subsequent physicochemical analyses.

Physicochemical parameters were determined in accordance with the methods regulated by the standard. The analyzed parameters included moisture content, which characterizes product stability and storage capacity; the pH of a 2 % aqueous solution, reflecting the acidity of bee-collected pollen; and crude protein content, which is one of the main indicators of the nutritional value of bee-collected pollen.

The combined application of organoleptic and physicochemical research methods ensured an objective assessment of the quality of bee-collected pollen, taking into account the natural and climatic characteristics of its origin. Statistical processing of the experimental data was performed using methods of variation statistics. Differences were considered statistically significant at a significance level of $p < 0.05$. Data processing was carried out using standard statistical analysis software.

Results and discussion

Organoleptic evaluation of bee-collected pollen included the assessment of appearance, consistency, color, odor, and taste. A total of 126 samples of bee-collected pollen were analyzed. According to the results of organoleptic assessment, all examined samples complied with the regulatory requirements of the standard.

The pollen was characterized by pellets of irregular shape with a mass of 5–20 mg and a granular, friable consistency; the pollen granules were firm and did not crumble when pressed between the fingers. Color varied over a wide range, which was determined by the botanical origin of the pollen. The odor was specific, pleasant, and characteristic of bee-collected pollen, without foreign impurities. The taste was typical and pleasant, predominantly sweet, sometimes with slight bitterness or acidity.

During the analyses, no signs of damage by harmful insects, foreign odors typical of spoiled protein products, manifestations of fermentation, or the presence of

mechanical impurities were detected. Thus, the organoleptic parameters of the examined bee-collected pollen samples met the requirements of the standard, indicating an appropriate level of product quality.

Figure 1 presents the results of the analysis of moisture content in bee-collected pollen depending on the natural and climatic zone of Ukraine, showing the mean values of the parameter and the standard error of the mean. The maximum permissible moisture content (10 %), established by the requirements of the current national standard, was used as a regulatory reference and is indicated by a dashed horizontal line.

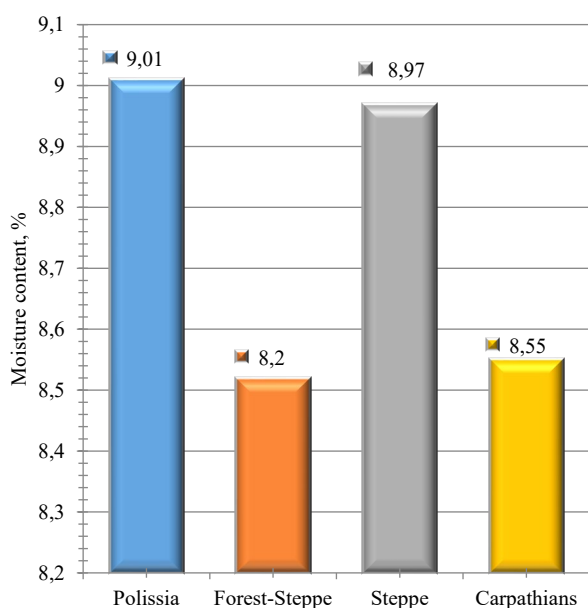


Fig. 1. Moisture content of bee-collected pollen by natural and climatic zones of Ukraine

The obtained results indicate that the mean moisture content of bee-collected pollen in all natural and climatic zones remained within the regulatory limits. In the Polissia zone, the mean moisture content was 9.01 ± 0.22 %, which was the highest value among the studied zones and may be attributed to higher climatic humidity and more challenging post-harvest drying conditions. In the Steppe zone, the mean moisture content was 8.97 ± 0.23 %, which also approaches the maximum permissible value of the standard and indicates the need for particular attention to technological drying regimes of bee-collected pollen.

For the Forest-Steppe zone, a lower mean moisture content was recorded – 8.52 ± 0.16 %, indicating more stable conditions of product formation and post-harvest processing. In the Carpathian zone, the mean moisture content of bee-collected pollen was 8.55 ± 0.19 %, which corresponds to the national average values despite the higher air humidity typical of mountainous areas.

Overall, the obtained data confirm that the moisture content of bee-collected pollen is determined not only by natural and climatic conditions but primarily by compliance with production technology, in particular timely harvesting, drying efficiency, and storage conditions. Adherence to these requirements ensures the

stability of the moisture parameter and the compliance of bee-collected pollen with the requirements of the current standard, which is an important factor for its quality and safety.

Analysis of the mean values of active acidity (pH) of bee-collected pollen, taking into account statistical error, revealed interzonal differences that are both statistically and practically significant. Overall, the majority of the analyzed samples complied with the regulatory requirements ($\text{pH} \leq 5.3$).

In the Forest-Steppe natural and climatic zone, the lowest mean values of active acidity were recorded, amounting to 4.82 ± 0.04 . The small magnitude of the error indicates high homogeneity of the analyzed samples and stability of technological approaches to post-harvest processing of bee-collected pollen. Within this zone, all examined samples complied with the regulatory requirements for pH.

In the Steppe natural and climatic zone, the mean pH value was 4.96 ± 0.06 . Compared with the Forest-Steppe zone, greater variability of values was observed, which may be attributed to the influence of elevated air temperatures during pollen harvesting and uneven drying processes. Nevertheless, the vast majority of samples remained within the permissible regulatory range ($\text{pH} \leq 5.3$).

The Polissia natural and climatic zone was characterized by higher mean values of active acidity – 5.08 ± 0.07 . The mean pH values in this zone approached the maximum permissible level, and the magnitude of the error indicated the presence of a proportion of samples with a tendency to exceed this threshold. This feature is likely associated with higher air humidity and more challenging conditions for drying and storage of bee-collected pollen.

The highest mean pH values were recorded in the Carpathian natural and climatic zone – 5.17 ± 0.14 . A substantial proportion of samples in this zone exhibited values close to the maximum regulatory pH level of 5.3, indicating an increased risk of reduced microbiological stability of the product. The combination of high air humidity and a prolonged post-harvest stabilization period creates conditions conducive to pH elevation, even when basic technological requirements are observed.

Overall across Ukraine, the mean pH value of bee-collected pollen was 5.01 ± 0.19 . It was established that approximately 7–9 % of the analyzed samples did not comply with the regulatory requirements for active acidity ($\text{pH} > 5.3$). These samples constituted a group of increased microbiological risk, since at such pH values favorable conditions are created for the development of acid-tolerant and putrefactive microflora.

The obtained results indicate that the interzonal differences in active acidity are statistically and technologically substantiated; however, the decisive factor in the formation of elevated pH values remains compliance with drying regimes, the duration of post-harvest stabilization, and storage conditions rather than the region of origin of bee-collected pollen alone. This confirms the appropriateness of using pH as a threshold criterion for quality control of bee-collected pollen.

Crude protein content is one of the key indicators of the nutritional value of bee-collected pollen, reflecting the botanical origin of pollen, agroecological conditions of the area, and soil status. Analysis of the mean crude protein values, taking into account the standard error of the mean, revealed interzonal differences as well as substantial intrazonal variability of this parameter.

In the Polissia natural and climatic zone, the mean crude protein content was $16.4 \pm 3.8\%$, indicating pronounced intrazonal variability. A substantial proportion of samples were characterized by reduced protein content that did not reach the regulatory minimum values, whereas individual samples met the minimum requirements or only slightly exceeded them. Such variability is consistent with literature data and is обусловлена acidic, low-fertility soils of Polissia, limited species diversity of high-protein pollen sources, and the dominance of forest and wetland phytocenoses.

In the Steppe natural and climatic zone, the mean crude protein content was moderately higher, amounting to $19.3 \pm 4.2\%$, and this zone exhibited one of the largest standard errors. This indicates substantial fluctuations in the parameter – from samples with low protein content to those approaching the upper regulatory limits. Such instability is typical of steppe regions and is associated with arid conditions, pronounced seasonality of pollen production, monocultural farming systems, and the predominance of certain entomophilous agricultural crops.

In the Carpathian natural and climatic zone, the mean crude protein content was $23.1 \pm 4.0\%$. Elevated mean values were combined with a very wide range of variation, which is typical of mountainous ecosystems. The high protein value of certain samples is explained by rich floristic diversity, a substantial proportion of wild-growing high-protein nectar- and pollen-bearing plants, as well as minimal anthropogenic pressure.

The highest mean crude protein values were recorded in the Forest-Steppe natural and climatic zone – $26.8 \pm 3.1\%$. Even in the presence of some variability, the majority of samples from this zone clearly exceeded the minimum regulatory requirements. The difference between the Forest-Steppe and Polissia zones exceeded 10 %, which convincingly indicates the decisive influence of soil and climatic conditions, agrofloristic structure, and the diversity of pollen resources on the formation of the protein composition of bee-collected pollen.

Figure 2 presents the crude protein content of bee-collected pollen depending on the natural and climatic zone of Ukraine. The obtained data indicate an increase in crude protein content from the Polissia to the Forest-Steppe zone, as well as the presence of substantial inter- and intrazonal variability of this parameter.

Overall across Ukraine, the mean crude protein content of bee-collected pollen was $21.5 \pm 4.5\%$, which corresponds to literature data on the average nutritional value of this product but at the same time highlights its high chemical heterogeneity. Analysis of compliance with regulatory requirements showed that a substantial proportion of samples, particularly from the Polissia and Steppe zones, did not meet the requirements of the current DSTU standard. The obtained results confirm that the crude protein content of bee-collected pollen largely

depends on the natural and climatic zone, the botanical origin of pollen, and agroecological conditions, which substantiates the appropriateness of a zonal approach to product quality assessment and the interpretation of chemical analysis results.

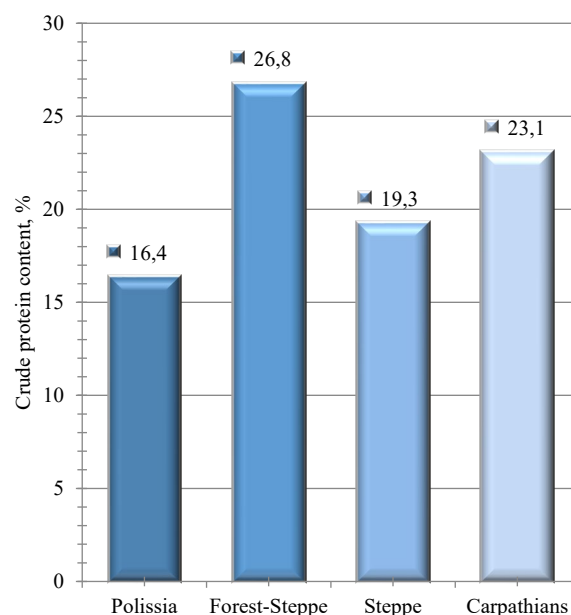


Fig. 2. Crude protein content (%) of bee-collected pollen depending on the natural and climatic zone of Ukraine

Conclusions

All 126 examined samples of bee-collected pollen complied with the requirements of DSTU 3127–95 for organoleptic characteristics, and the moisture content in all zones remained within the regulatory limit ($\leq 10\%$), though the highest values were characteristic of the Polissia (9.01 %) and Steppe (8.97 %) zones compared to the lower levels in the Forest-Steppe (8.52 %) and Carpathian (8.55 %) zones. The active acidity (pH) indicator exhibited statistically significant interzonal differences ($p < 0.05$), where values closest to the maximum threshold of 5.3 were recorded in the Carpathian (5.17) and Polissia (5.08) zones, increasing the risk of microbiological instability, while the lowest pH was observed in the Forest-Steppe zone (4.82); overall across Ukraine, the mean pH was 5.01, with 7–9 % of samples failing to comply with the standard ($\text{pH} > 5.3$). The crude protein content depended significantly on natural and climatic conditions and botanical origin, averaging 21.5 % nationwide, with the highest values observed in the Forest-Steppe zone (26.8 %) and the lowest in the Polissia zone (16.4 %), followed by the Steppe (19.3 %) and Carpathian (23.1 %) zones, while a substantial proportion of samples from Polissia and the Steppe did not meet the minimum regulatory requirements. The obtained results confirm the appropriateness of a zonal approach to assessing the quality and nutritional value of bee-collected pollen, as well as the necessity of comprehensive control of physicochemical parameters in accordance with current standards.

Prospects for further research. Further scientific research will be focused on an in-depth study of the relationships between natural and climatic conditions, the botanical origin of pollen, and the formation of physicochemical and biological quality indicators of bee pollen. It is promising to expand the range of studied parameters by determining microbiological safety indicators, antioxidant activity, the content of biologically active compounds, as well as the amino acid and mineral composition depending on the zone of origin.

DECLARATIONS

Ethical Statement

The authors declare that the sampling and analysis of bee-collected pollen samples were conducted in accordance with international ethical norms and veterinary guidelines. Since this study was based on the analysis of finished apiary products and did not involve experiments or harm to honeybee (*Apis mellifera*) colonies, formal institutional bioethics committee approval was not required.

Funding

The research was carried out with the financial support of the International Visegrad Fund, whose grants were awarded to Dina Lisohurska (grant ID 52510347) and Svitlana Furman (grant ID 52510356). Part of the research was funded by the National Scholarship Programme of the Slovak Republic (NSP), awarded to Leonora Adamchuk under application ID 57381.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

The authors Dina Lisohurska (ID 52510347) and Svitlana Furman (ID 52510356) express their sincere gratitude to the International Visegrad Fund for the fellowships and research stays during which the results presented in this article were obtained. The author, Leonora Adamchuk, gratefully acknowledges that the results presented in this article were achieved during a research stay in Slovakia supported by the National Scholarship Programme of the Slovak Republic (NSP), ID 57381.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

- Komosinska-Vashev, K., Olczyk, P., Kaźmierczak, J., Mencner, L., & Olczyk, K. (2015). Bee pollen: Chemical composition and therapeutic application. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2015, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2015/297425>
- Derzhavnyi Standart Ukrainy. (1995). *Obnizhzhia bdzholyne (pylok kvitkovyi) i yoho sumishi. Tekhnichni umovy* [Pollen load and compositions (flower pollen). Specifications] (DSTU 3127–95). DP «UkrNDNTs». https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91436 [in Ukrainian]
- International Organization for Standardization. (2023). *Bee pollen – Specifications* (ISO Standard No. 24382:2023). <https://www.iso.org/standard/78544.html>
- Omelchun, Y. A., Shevchenko, L. V., Nikitina, L. M., Solomon, V. V., Mykhalska, V. M., Furman, S. V., Lisohurska, D. V., & Lisohurska, O. V. (2025). Pesticides as a cause of honeybee (*Apis mellifera*) mortality and their persistence in honey. *Biosystems Diversity*, 33 (1), e2501. <https://doi.org/10.15421/012501>
- Campos, M. G. R., Bogdanov, S., de Almeida-Muradian, L. B., Szczesna, T., Mancebo, Y., Frigerio, C., & Ferreira, F. (2008). Pollen composition and standardisation of analytical methods. *Journal of Apicultural Research*, 47 (2), 154–161. <https://doi.org/10.1080/00218839.2008.11101443>
- Thakur, M., & Nanda, V. (2020). Composition and functionality of bee pollen: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 98, 82–106. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.001>
- Klym, O., Vorobel, M., Kovalskyi, Y., Rivis, Y., Kaplinskyi, V., & Androschuk, R. (2023). Nutritional value and modern approaches to the usage of the bee pollen. *Foothill and Mountain Agriculture and Stockbreeding*, 73 (1), 134–149. [https://doi.org/10.32636/01308521.2023-\(73\)-1-9](https://doi.org/10.32636/01308521.2023-(73)-1-9)
- Nicolson, S. W. (2011). Bee food: the chemistry and nutritional value of nectar, pollen and mixtures of the two. *African Zoology*, 46 (2), 197–204. <https://doi.org/10.1080/15627020.2011.11407495>
- Lau, P., Lesne, P., Grebenok, R. J., Rangel, J., & Behmer, S. T. (2022). Assessing pollen nutrient content: a unifying approach for the study of bee nutritional ecology. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 377 (1853). <https://doi.org/10.1098/rstb.2021.0510>
- Redina, N. M., Adamchuk, L. O., Nikolaieva, N. V., & Brindza, J. (2016). Morphological characteristics of bee pollen obtained from *Brassica napus* L. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 18 (2), 73–78. <https://doi.org/10.15421/nvlyet6814>
- Prđun, S., Svečnjak, L., Valentić, M., Marijanović, Z., & Jerković, I. (2021). Characterization of bee pollen: Physico-chemical properties, headspace composition and FTIR spectral profiles. *Foods*, 10 (9), 2103. <https://doi.org/10.3390/foods10092103>
- Pasarin, D., & Rovinaru, C. (2022). Chemical analysis and protein enzymatic hydrolysis of poly-floral bee pollen. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 35 (1), 59–69. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i1.2928>
- Giampieri, F., Quiles, J. L., Cianciosi, D., Forbes-Hernández, T. Y., Orantes-Bermejo, F. J., Alvarez-Suarez, J. M., & Battino, M. (2022). Bee products: An emblematic example of underutilized sources of bioactive compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70 (23), 6833–6848. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c05822>
- Castiglioni, S., Astolfi, P., Conti, C., Monaci, E., Stefano, M., & Carloni, P. (2019). Morphological, physicochemical and FTIR spectroscopic properties of bee pollen loads from different botanical origin. *Molecules*, 24 (21), 3974. <https://doi.org/10.3390/molecules24213974>
- Vaudo, A. D., Tooker, J. F., Patch, H. M., Biddinger, D. J., Coccia, M., Crone, M. K., Fiely, M., Francis, J. S., Hines, H. M., Hodges, M., Jackson, S. W., Michez, D., Mu, J., Russo, L., Safari, M., Treanore, E. D., Vanderplanck, M., Yip, E., Leonard, A. S., & Grozinger, C. M. (2020). Pollen protein: Lipid macronutrient ratios may guide broad patterns of bee species floral preferences. *Insects*, 11 (2), 132. <https://doi.org/10.3390/insects11020132>
- Sych, I. V., Losiev, O. M., & Holovetskyi, I. I. (2015). Osoblyvosti vyrobnytstva bdzholynoho obnizhzhia v umovakh Lisostepu Ukrainy [Features of bee-collected pollen production under the conditions of the Forest-Steppe of Ukraine]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Universytetu Bioresursiv i Pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnolohiia Vyrobnytstva i Pererobky Produktiv Tvarynytstva*, 223, 184–189. [in Ukrainian]
- Denisov, B., & Denisov-Pietrzyk, M. (2016). Biological and therapeutic properties of bee pollen: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (13), 4303–4309. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7729>
- Carrera, M. A., Miguel, E., Fernández-Alba, A. R., & Hernando, M. D. (2023). First survey on the presence of mycotoxins in commercial bee pollen sourced from 28 countries. *Food Control*, 152, 109816. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.109816>

19. Phan, N. T., Joshi, N. K., Rajotte, E. G., Zhu, F., Peter, K. A., López-Urbe, M. M., & Biddinger, D. J. (2024). Systemic pesticides in a solitary bee pollen food store affect larval development and increase pupal mortality. *Science of the Total Environment*, 915, 170048. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170048>
20. Adaškevičiūtė, V., Kaškonienė, V., Barčauskaitė, K., Kaškonas, P., & Maruška, A. (2022). The impact of fermentation on bee pollen polyphenolic compounds composition. *Antioxidants*, 11 (4), 645. <https://doi.org/10.3390/antiox11040645>

ORCID

S. Furman		https://orcid.org/0000-0002-1079-5797
L. Adamchuk		https://orcid.org/0000-0003-2015-7956
J. Brindza		https://orcid.org/0000-0001-8388-8233
D. Lisohurska		https://orcid.org/0000-0002-2559-6520
O. Lisohurska		https://orcid.org/0000-0002-3553-9351
I. Ivanova		https://orcid.org/0000-0003-2711-2021



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Clinical development and curative efficacy of “Exolium” gel in complex therapy purulent and necrotic processes in the digit region of cows

Y. Kovalchuk  | S. Huralska | H. Hryshchuk | O. Pinsky | T. Budnik | V. Karpiuk

Article info

Correspondence Author
Y. KovalchukE-mail:
ukoval1975@ukr.netPolissia National University,
7 Staryi Bulvar Street,
Zhytomyr, 10002, Ukraine

Citation: Kovalchuk, Y., Huralska, S., Hryshchuk, H., Pinsky, O., Budnik, T., & Karpiuk, V. (2026). Clinical development and curative efficacy of “Exolium” gel in complex therapy purulent and necrotic processes in the digit region of cows. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 187–194. doi: 10.31210/spi2026.29.01.30

Purulent necrotic injuries of cows' digit region remain one of the most widespread surgical pathologies of the distal extremities' section in cattle and lead to considerable economic losses as a result of lameness and lowering productivity. The purpose of the research was to find out the spread and clinical development of purulent necrotic processes in the digit region of cows as well as experimental substantiation of the curative efficacy of “Exolium” gel application in the complex therapy as compared to the traditional treatment order. The study was conducted on “Kavetsky” farm of Korosten district, Zhytomyr region from September 2025 to January 2026. During clinical examination of 350 cows, the injuries of the distal extremities' section was revealed in 32 cows (9.1 % of the livestock). In the structure of surgical pathology, digital dermatitis (Mortellaro disease) – 28.1 % and purulent pododermatitis – 25.0 % prevailed. More seldom skin wounds and ulcers of interdigital cleft, phlegmonous processes and purulent podarthritis were registered. Heifers and first-calf cows were the most affected with the localization of the pathological process mainly on the pelvis extremities. To estimate the therapeutic efficacy, the experimental and control groups of animals (n=6) were formed. After orthopaedic clearing of hooves and surgical sanitation, in the experimental group “Exolium” gel was used locally and ketoprofene intramuscularly, and in the control group “Unisan” ointment and “Ainil” preparation injections were administered. The use of “Exolium” gel ensured the decrease in the signs of lameness on the 4.3 day (in comparison with the 7.1 day in the control group; $P<0.001$) and the complete elimination of dead tissues in 6.5 days ($P<0.001$). The appearance of granulations and epithelization in the experimental group was registered on the 8.1 day, while in the control group – only on the 13.3 day ($P<0.001$). The general time of the complete recovery at applying “Exolium” gel was reduced by 4–6 days and made 12.3 days as compared to 16.3 days in the control group ($P<0.001$), which was accompanied by restoring of the animals' motional activity by 45.2 % more than in the control. “Exolium” gel is the effective component in the complex therapy and is recommended for the treatment of purulent necrotic injuries of cows' hooves in production conditions.

Keywords: cattle, hoof diseases, Mortellaro disease, pododermatitis, “Exolium” gel, lameness, regeneration.

Клінічний перебіг та лікувальна ефективність гелю «Exolium» у комплексній терапії гнійно-некротичних процесів ділянки пальця у корів

Ю. В. Ковальчук | С. В. Гуральська | Г. П. Гришук | О. В. Пінський | Т. С. Буднік | В. В. Карпюк

Поліський національний
університет,
м. Житомир, Україна

Гнійно-некротичні ураження ділянки пальця у корів залишаються однією з найпоширеніших хірургічних патологій дистального відділу кінцівок у великої рогатої худоби та призводять до значних економічних збитків через кульгавість і зниження продуктивності. Метою дослідження було з'ясування поширеності та клінічного перебігу гнійно-некротичних процесів у ділянці пальця у корів, а також експериментальне обґрунтування лікувальної ефективності застосування гелю «Exolium» у комплексній терапії порівняно з традиційною схемою лікування. Дослідження проводили у ФГ «Кавецького» Коростенського району Житомирської області з вересня 2025 року до січня 2026 року. Під час клінічного обстеження 350 корів ураження дистального відділу кінцівок виявлено у 32 тварин (9,1 % поголів'я). У структурі хірургічної патології переважали пальцевий дерматит (хвороба Мортелларо) – 28,1 % та гнійні пододерматити – 25,0 %. Рідше реєстрували рани і виразки шкіри міжпальцевої щілини, флегмонозні процеси та гнійні подартрити. Найбільш уразливими виявилися нетелі та корови-первістки з локалізацією патологічного процесу переважно на тазових кінцівках. Для оцінки терапевтичної ефективності сформували дослідну та контрольну групи тварин (n=6). Після ортопедичної розчистки копитця та хірургічної санації в дослідній групі застосовували гель «Exolium» локально та кетопрофен внутрішньом'язово, у контрольній – мазь «Унісан» та ін'єкції препарату «Айніл». Застосування гелю «Exolium» забезпечило зменшення ознак кульгавості вже на 4,3 добу (проти 7,1 доби в контролі; $P<0.001$) та повне видалення мертвих тканин за 6,5 доби ($P<0.001$). Поява грануляцій та епітелізації в дослідній групі реєструвалася на 8,1 добу, тоді як у контрольній – лише на 13,3 добу ($P<0.001$). Загальний термін повного клінічного одужання при застосуванні гелю «Exolium» скоротився на 4–6 діб і становив 12,3 доби порівняно з 16,3 доби в контрольній групі ($P<0.001$), що супроводжувалося відновленням рухової активності тварин на 45,2 % вище порівняно з контролем. Гель «Exolium» є ефективним компонентом комплексної терапії та рекомендований для лікування гнійно-некротичних уражень ратиць у корів в умовах виробництва.

Ключові слова: велика рогата худоба, хвороби ратиць, хвороба Мортелларо, пододерматит, гель «Exolium», кульгавість, регенерація.



Бібліографічний опис для цитування: Ковальчук Ю. В., Гуральська С. В., Гришук Г. П., Пінський О. В., Буднік Т. С., Карпюк В. В. Клінічний перебіг та лікувальна ефективність гелю «Exolium» у комплексній терапії гнійно-некротичних процесів ділянки пальця у корів. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 187–194.

Вступ

Хвороби копитець є однією з найпоширеніших патологій великої рогатої худоби як на великих тваринницьких комплексах, так і на товарних молочних фермах [3–4]. Серед усіх патологій дистального відділу кінцівок у корів наразі переважають гнійно-некротичні ураження [1, 8, 10].

В умовах реструктуризації аграрного сектору економіки та модернізації технологічних процесів у тваринництві перед ветеринарними фахівцями постали складні завдання, вирішення яких має підвищити ефективність лікувально-профілактичних заходів у господарствах [5, 12]. Впровадження інтенсивних технологій ведення скотарства та розведення високопродуктивного поголів'я супроводжується зростанням захворюваності на патології рухового апарату у корів. Значна частота поширення цих хвороб як в Україні, так і за її межами спричиняє відчутні економічні збитки [22–24]. У країнах Європи до 50 % корів щорічно підлягають вимушеному вибуттю або вибраковці через патології кінцівок, що призводить до зниження їхньої продуктивності та репродуктивної здатності [13, 21, 25].

Особливо гостро ця проблема постала у зв'язку з переведенням тваринництва на промислову основу та концентрацією великої кількості худоби на обмежених територіях. Через недоотримання молока від корів із ураженими ратицями господарства зазнають значних фінансових втрат. Дослідженнями доведено, що у корів із кульганістю втрати молочної продуктивності становлять від 20 до 50 % і більше [2, 11, 19]. Кульганість також негативно впливає на процес відтворення – недоотримання приплоду становить у середньому 17 телят на 100 корів [9, 15]. Це змушує виробників вибраковувати найбільш високопродуктивних тварин, що призводить до частой вимушеної ротації стада. Нетелі та корови першої лактації з ураженнями ратиць вибувають зі стада, як правило, вже після першої або другої лактації [6, 18].

Молоко від корів із гнійними ураженнями копитець за вмістом соматичних клітин та показниками бактеріального забруднення не відповідає чинним стандартам якості, тому його вилучають із загального реалізаційного обсягу [7, 20].

У більшості господарств профілактика захворювань копитець практично не здійснюється, а основну увагу приділяють лікуванню клінічних форм патології. Проблеми терапії хвороб ратиць у високопродуктивних корів неодноразово розглядалися у вітчизняних і зарубіжних наукових джерелах. Водночас значна частина запропонованих засобів діє на уражені ділянки лише поверхнево, має переважно антибактеріальний ефект, недостатньо проникає у глибокі шари тканин і не завжди забезпечує очікувану лікувальну дію [14, 26–27].

Таким чином, вивчення розповсюдження, етіології, клінічного перебігу та пошук ефективних лікувальних засобів за гнійно-некротичних уражень ділянки пальця, незважаючи на велику кількість досліджень даної патології, до сих пір залишається пріоритетним.

Мета дослідження

Мета дослідження – з'ясувати поширеність і клінічний перебіг гнійно-некротичних процесів у ділянці пальця у корів та експериментально обґрунтувати лікувальну ефективність застосування гелю «Exolium» у комплексній терапії порівняно з традиційною схемою лікування.

Матеріали і методи

Клініко-експериментальні дослідження проводили у період з вересня 2025 року до січня 2026 року на базі приватної товарної молочної ферми ФГ «Кавецького» (Коростенський район Житомирської області).

Об'єктом дослідження були лактуючі корови з клінічно вираженими гнійно-некротичними ураженнями дистального відділу кінцівок. Комплекс діагностичних заходів включав регулярний клінічний огляд тварин під час їхнього перегону з вигульних майданчиків до доїльного залу, оцінку локомоції (ступеня кульгавості), ортопедичний огляд та інструментальну ревізію уражених ділянок ратиць.

З метою клініко-експериментального обґрунтування терапевтичних заходів при гнійно-некротичних ураженнях у ділянці пальця (пальцевий дерматит / хвороба Мортелларо, пододерматити, флегмони, виразкові ураження) за методом аналогів було сформовано дві групи тварин – дослідну та контрольну, кожна з яких налічувала по 6 корів ($n = 6$).

Усіх піддослідних тварин фіксували у спеціальному ортопедичному станку, де їм проводили функціональне та лікувальне розчищення копитець. Після хірургічної та антисептичної санації гнійно-некротичних вогнищ із видаленням детриту на уражені ділянки накладали марлеві серветки, просочені відповідними лікарськими засобами, які фіксували захисною пов'язкою (ортопедичним биндом). Заміну пов'язок здійснювали кожні 3–4 доби до повного очищення рани та появи ознак епітелізації.

Запропоновані схеми лікування за групами тварин наведено в **таблиці 1**.

Таблиця 1

Схеми лікування корів за гнійно-некротичних процесів у ділянці пальця

Дослідна група ($n = 6$)	Контрольна група ($n = 6$)
1. Розчищення ратиць із подальшою хірургічною обробкою.	1. Розчищення ратиць із подальшою хірургічною обробкою.
2. Накладання марлевих пов'язок із гелем «Exolium».	2. Накладання марлевих пов'язок із маззю «Унісан».
3. Внутрішньом'язові ін'єкції кетопрофену (15–20 мл на тварину).	3. Внутрішньом'язові ін'єкції препарату «Айніл» (20–25 мл на тварину).

У дослідній групі тварин у лікувальній схемі з астосовували гель «Exolium» (комерційна назва *Kanters Protect Plus* виробництва компанії *Kanters*, Нідерланди), тоді як у контрольній групі використовували мазь «Унісан» (виробництво Україна) та внутрішньом'язові ін'єкції препарату «Айніл» (діюча речовина – кетопрофен) у дозі 20–25 мл на тварину.

Гель «Exolium» містить у своєму складі мідь і цинк в органічній (хелатній) формі, органічні кислоти, а також спеціальні адгезивні та формоутворювальні компоненти, що сприяють відновленню ушкоджених копир і шкірних покривів кінцівок. Мазь «Унісан» має виражені антисептичні властивості. Активні компоненти проявляють ефективність щодо вегетативних форм граммпозитивних і грам-негативних бактерій, а також дріжджових грибів, дерматофітів, ліпофільних вірусів і хламідій. Окрім цього, засіб чинить протизапальну, в'язучу та місцеву знеболювальну дію. Завдяки гіпертонічним властивостям мазь «Унісан» стимулює ексудацію, пришвидшує перебіг гнійно-запальних процесів, сприяє очищенню інфікованих ран і їх швидшому загоєнню. Цинк, що входить до складу препарату, є важливим мікроелементом, необхідним для нормального функціонування шкіри.

Оцінку лікувальної ефективності запропонованих схем проводили за тривалістю повного очищення вогнищ ураження від некротизованих тканин і гнійного ексудату (діб), термінами усунення кульгавості, появи ознак грануляції та епітелізації, а також за часом до повного клінічного одужання тварин.

Статистичну обробку отриманих цифрових даних здійснювали за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel із визначенням середнього арифметичного (M), стандартної помилки середнього (m) та рівня вірогідності різниці показників (P) з використанням t-критерію Стьюдента. Розбіжності вважали статистично значущими при $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення

Обстеження поголів'я корів у ФГ Кавецького Коростенського району Житомирської області показало значне поширення уражень дистального відділу кінцівок серед тварин (рис. 1).



Рис. 1. Виразка шкіри міжпальцевої щілини у корови

У період з вересня 2025 до січня 2026 року проводилися дослідження, під час яких виявлено 32 корів із гнійно-некротичними ураженнями дистального відділу кінцівок – 9,1 % від усього стада (350 голів) (табл. 2).

Аналіз отриманих даних свідчить, що основну масу уражень складав пальцевий дерматит або

хвороба Мортелларо (28,1 % від кількості хворих тварин) та пододерматити (25,0 %). Флегмонозні процеси та рани і виразки шкіри міжпальцевого склепіння зустрічалися рідше (15,6 і 12,5 % відповідно). Також було зареєстровано два випадки гнійного подартрити (1,1 %), які розвивалися як ускладнення пододерматитів внаслідок несвоєчасного їх лікування.

Таблиця 2

Поширення хірургічної патології ділянки пальця у корів в ФГ Кавецького

Хірургічна патологія	Кількість тварин		
	голів	% від загальної кількості	% від кількості хворих
Хвороба Мортелларо	9	2,6	28,1
Пододерматити	8	2,3	25,0
Рани та виразки	6	1,7	18,8
Флегмонозні процеси	5	1,4	15,6
Інша патологія	4	1,1	12,5
Всього хворих:	32	–	–
Всього обстежено корів	350	9,1	100

У даному господарстві постійно проводиться розчищення деформованих ратиць, а також лікування корів, хворих на гнійно-некротичні процеси. Проте з роками кількість хворих тварин майже не змінюється. Таку низьку лікувальну ефективність, очевидно, можна пояснити застосуванням малоефективних лікувальних засобів.

Варто відзначити, що пододерматити різних форм, гнійні рани та виразки детально описані у вітчизняній і зарубіжній літературі, тоді як про хворобу Мортелларо даних значно менше. Водночас у структурі виявленої нами патології саме пальцевий дерматит займав перше місце (28,1 %).

Пальцевий дерматит (у літературі хвороба також відома під назвою «полунічна хвороба», «хвороба Мортелларо» – є й інші назви) характеризується тим, що запальні процеси локалізуються на шкірі ділянки вінчика, на початку або ж у кінці міжпальцевого склепіння.

За своєю природою пальцевий дерматит – це висококонтагіозне захворювання, що має стадійність розвитку, важко піддається повному вилікуванню та має схильність до рецидивів. Він характеризується ураженням шкіри у формі круглих або овальних, сильно почервонілих і ущільнених ділянок у міжпальцевій області та на п'ятці. В окремих випадках спостерігаються проліферативні, бородавчасті зміни та інтенсивний ріст волосся навколо зон ураження [17].

У перебігу хвороби виділяють чітку стадійність розвитку, а саме: M^0 – здорова шкіра; M^1 – субклінічний перебіг (рання стадія); M^2 – гострий перебіг (болюча виразка); M^3 – одужання; M^4 – хронічна стадія (волосата бородавка); M^5 – хронічна рецидивуюча стадія. Причому патологічний процес не завжди розвивається в названій послідовності [16–17].

Нашими спостереженнями доведено, що до цієї хвороби більш схильні нетелі та корови-первістки. При цьому, як правило, процес відмічали на тазових

кінцівках. Пальці при цій патології практично не набрякають. Уражені хворобою тварини сильно кульгають і проводять більшу частину часу лежачи. Також у тварини може тривалий час спостерігатися стадія М¹, проте тварини на цій стадії не завжди вчасно помічаються фахівцями та піддаються відповідному лікуванню.

Наступні стадії хвороби починають прогресувати під впливом різноманітних стрес-факторів, таких як роди, метаболічні захворювання, погіршення санітарно-гігієнічних умов утримання (особливо за високої вологості). На стадії М² місця ураження виглядають як опуклі червоно-жовті плями, вкриті ворсинками, які зазвичай локалізуються на задній стороні копитця над п'ятою. Вони візуально нагадують поверхню полуниці, дуже болючі на дотик і нерідко кровоточать. У міру прогресування процесу осередки розростаються до 5 см у діаметрі і, як правило, виділяються пучками довгих, схожих на волосся виростів уздовж всієї поверхні. У цілому, таке ураження нагадує порослу волоссям бородавку. Подібні хронічні зміни можуть зберігатися протягом багатьох місяців, зменшуючись лише за більш сухої погоди [16].

Джерелом зараження за цієї патології є хворі тварини. Також не виключено інфікування через інструмент для обробки копит, зокрема, копитні ножі, кліщі та диски.

Друге місце у структурі виявленої хірургічної патології посідали гнійні та гнильні пододерматити, які склали 25,0 % від загальної кількості хворих тварин (рис. 2).



Рис. 2. Запалення основи шкіри підошви (гнійний пододерматит)

Клінічно вони характеризувалися кульгавістю середнього ступеня та неприродною постановкою кінцівки. Під час огляду рогова підошва була набряклою й відокремлювалася від шкірної основи. Після її розтину виділявся рідкий гнійний екссудат сіруватого кольору з неприємним запахом, нерідко з домішками газових бульбашок.

У разі ураження глибших шарів шкірної основи, тобто при глибокому пододерматиті, у тварин суттєво посилювалася кульгавість, часто підвищувалася температура тіла та загалом погіршувався загальний стан організму. При цьому виділення гнійного екссудату ставали помітно густішими, жовтуватими,

інколи із зеленуватим відтінком, що безпосередньо вказувало на руйнування щільних глибоких тканин пальця.

Третє місце за частотою розповсюдження займали рани та виразки шкіри міжпальцевих щілин і м'якушів, які склали 19,5 % випадків від загальної кількості хірургічних патологій (рис. 3).



Рис. 3. Виразка м'якуша та шкіри міжпальцевої щілини лівої тазової кінцівки у корови

Першими клінічними проявами цієї патології була легка кульгавість тварини. Безпосередньо у місцях ураження відзначали чітке почервоніння шкіри, підвищення локальної температури, а також болючу обмежену припухлість тканин. Згодом у цих зонах виникали поверхневі тріщини, що швидко інфікувалися змішаною мікрофлорою та поступово поглиблювалися, внаслідок чого з уражених ділянок починав виділятися серозно-гнійний екссудат.

Як ускладнення перебігу глибокого пододерматиту або під безпосереднім впливом механічного ушкодження тканин у ділянці пальців у корів відмічали розвиток флегмонозних процесів (15,6 %). Найчастіше під час досліджень виявляли флегмону м'якуша та вінчика, для яких були характерні розлита гаряча та сильно болюча припухлість тканин цієї анатомічної зони. З часом у самому центрі запального набряку утворювався чіткий осередок нагноєння, з якого після самовільного проривання або лікувального хірургічного розкриття виділявся гнійний екссудат.

Флегмона м'якуша супроводжувалася кульгавістю опорної кінцівки різного ступеня вираженості. Безпосередньо у ділянці м'якуша або міжм'якушевої борозни реєстрували поширену припухлість із вираженою больовою реакцією тварини. Через кілька днів у цих місцях формувалися абсцеси, після хірургічного розтину яких виділявся гнійний екссудат.

Серед інших патологій у двох тварин було виявлено гнійні подартрити (12,5 %). Найчастіше вони виникали як наслідок глибокого пододерматиту або флегмонозних процесів і значно рідше – після проникаючих поранень у ділянці підошви, вінчика чи міжпальцевого простору. Уражену кінцівку тварина постійно тримала піднятою, іноді здійснюючи нетипові (хаотичні) рухи; копитцевий суглоб при цьому збільшувався в об'ємі, ставав малорухомим, різко болючим і гарячим на дотик. Під час клінічного огляду виявляли фістулу, з якої виділялася невелика

кількість гнійного ексудату. У випадках, коли запальний процес охоплював безпосередньо кісткову тканину та кістковий мозок, у виділеннях знаходили часточки кісткових секвестрів і крапельки жиру.

Для своєчасної діагностики пододерматитів та інших хірургічних захворювань дистального відділу кінцівок необхідно регулярно оглядати корів під час їх перегону з вигульних майданчиків до доїльного приміщення. Всі кульгаючі тварини підлягають негайному та детальному обстеженню в ортопедичному станку.

Застосування комплексу клінічних методів дозволяє вчасно та точно встановлювати діагноз у сучасних умовах утримання худоби. Однак, як зазначалося раніше, навіть у зовні здорових корів при профілактичному розчищенні ратиць часто виявляли приховані ознаки субклінічного асептичного пододерматиту. Серед них найчастіше реєстрували помірний набряк у зоні вінчика, розм'якшення рогової підшви, точкові або розлиті крововиливи в основі шкіри, а також місцеве розширення або руйнування білої лінії. Хронічні форми асептичного пододерматиту з часом призводять до вираженого розпушення рогової підшви, що безпосередньо сприяє механічному травмуванню та подальшому інфікуванню основи шкіри ратиці.

У разі розвитку клінічних форм патології поверхневі й глибокі гнійні пододерматити проявлялися кульгавістю середнього ступеня та характерним неприродним положенням ураженої кінцівки. Тварина постійно намагалася зняти механічне навантаження з хворого пальця, відводячи його назовні (при ураженні зовнішнього пальця) або підводячи під тулуб (при ураженні внутрішнього) – саме таким чином формувалися специфічні захисні пози.

Під час детального ортопедичного огляду рогова підшва виглядала ніби роздутою і помітно відшаровувалася від основи шкіри, а при її хірургічному розрізі виділявся рідкий сіруватий гнійний ексудат із неприємним гнильним запахом, іноді з газовими бульбашками. Це клінічно свідчило про змішане інфікування патологічних осередків збудниками гниття та анаеробними мікроорганізмами. Подекуди в запущених випадках ріг м'якуша відшаровувався самостійно, внаслідок чого з-під нього вільно витікав гнійно-гнильний ексудат.

При вчасній діагностиці й терапії хвороба перебігала як обмежений поверхневий пододерматит: після очищення та лікування виразки на шкірі зарубцьовувалися, спочатку вкривалися фібрином, а далі – молодим рогом. Проте за пізнього виявлення патології переходила в глибоку форму з ураженням нижніх шарів шкіри та навіть копитцевої кістки. У таких випадках кульгавість значно посилювалася, нерідко зростала температура тіла та погіршувався загальний стан тварини, а гнійний ексудат ставав густим, жовтуватим або зеленуватим, що чітко вказувало на руйнування щільних глибоких тканин.

Варто підкреслити, що гнійні пододерматити супроводжувалися вираженим порушенням функції пальців і копитець: опора на підшву ураженого копитця ставала дуже болючою, тому основне механічне навантаження переносилося на протилежне

здорове копитце кінцівки. Для глибокої форми хвороби характерним було утворення густого гнійного ексудату, що відбувалося внаслідок масової міграції лейкоцитів у вогнище запалення.

Ускладненням зазначених процесів часто ставала флегмона вінчика (рис. 4), яка проявлялася розлитію, гарячою та болісною припухлістю тканин у цій зоні, що неминуче супроводжувалося значним порушенням опорної функції кінцівки.



Рис. 4. Флегмона вінчика у корови

Згодом у центрі запального набряку виникав чіткий осередок нагноєння. Після його спонтанного розкриття або лікувального хірургічного втручання виділявся гнійний ексудат, що сприяло поступовому відновленню функцій ураженої кінцівки. При ураженні глибоких шарів підшви запальний процес часто поширювався до сполучнотканинного шару вінчика, що й зумовлювало розвиток флегмони. У таких випадках клінічна картина поєднувала в собі ознаки гнійного пододерматиту і флегмони. Формування нориці забезпечувало стійкий відтік гною, а розтин підшви з наступною антисептичною санацією дозволяв повністю очистити тканини. Це сприяло швидшому очищенню уражених тканин і відновленню здоров'я тварини.

Узагальнюючи викладені результати, можна констатувати, що у ФГ Кавецького захворювання копитець у корів мають стабільно високий рівень поширеності. Це свідчить про недостатню ефективність наявних на підприємстві профілактичних і лікувальних заходів. Найчастіше під час ортопедичного скринінгу діагностували пальцевий дерматит (хворобу Мортелларо), а також гнійні пододерматити, рани, виразки та флегмонозні ураження, які супроводжувалися вираженою кульгавістю і суттєвим зниженням загальної рухової активності тварин.

Основними чинниками розвитку зазначених патологій є пізнє виявлення початкових стадій захворювань, технологічні стреси, незадовільні санітарно-гігієнічні умови утримання поголів'я, висока вологість у приміщеннях, а також можливе інфікування через інструменти для обробки копит. Регулярний клінічний огляд тварин і своєчасне функціональне розчищення ратиць дозволяють виявляти хвороби на ранніх стадіях і запобігати розвитку тяжких ускладнень. Для зниження загального рівня захворюваності необхідно посилити контроль за станом копитець, удосконалити умови утримання худоби, забезпечити

обов'язкову дезінфекцію ортопедичного інструментарію та застосовувати більш ефективні методи лікування і профілактики захворювань копитець у корів.

З метою підвищення ефективності терапії нами було проведено порівняльне випробування нової схеми лікування. Згідно з результатами, наведеними в **таблиці 3**, позитивна клінічна динаміка у тварин

дослідної групи з'явилася вже на 2–3-тю добу від початку терапії. Це проявилось в помітному покращенні загального стану організму, зниженні набряку тканин пальця та суттєвому зменшенні гнійної ексудації з вогнища ураження. Крім того, на тлі застосування запропонованого протоколу у корів підвищилася рухова активність і зменшилися ознаки кульгавості.

Таблиця 3

Ефективність застосування гелю «Ексоліум» за гнійно-некротичних уражень ратиць у корів, $M \pm m$ ($n=6$)

Показники	Дослідна група,	Контрольна група	$P <$
Зменшення ознак кульгавості, діб	$4,3 \pm 0,50$	$7,1 \pm 0,6$	0,001
Повне видалення мертвих тканин, діб	$6,5 \pm 0,32$	$10,5 \pm 0,48$	0,001
Поява ознак грануляції та епітелізації, діб	$8,1 \pm 0,40$	$13,3 \pm 0,47$	0,001
Повне клінічне одужання, діб	$12,3 \pm 0,37$	$16,3 \pm 0,47$	0,001

Під час клінічного огляду на 2–3-тю добу лікування у тварин контрольної групи продовжували реєструвати малорухливість і виражену кульгавість ураженої кінцівки. Безпосередньо у зоні гнійно-некротичного осередку копитцевого дерма мала набряклий і щільний вигляд, що супроводжувалося різкою болючістю при пальпації, а сама ранова поверхня була вкрита густим гнійним ексудатом.

На 3–4-й день після резекції копитцевого рогу у корів дослідної групи рани повністю очистилися від некротичних мас. Кількість ексудату при цьому помітно зменшилася, він став більш рідким і набув світло-жовтого відтінку. Поява перших локальних островців грануляційної тканини на основі шкіри підтвердила успішний початок фази регенерації.

У цей же період у дослідних тварин спостерігалася виражене зменшення набрякості й ущільнення тканин у зоні запалення, а також значне послаблення болевих відчуттів під час пальпації; виділення ексудату надалі не реєструвалося.

Натомість у контрольних тварин у цей час патологічний процес залишався вираженим: зберігалися помірна кульгавість і чітка болючість при пальпації підшви. Попри незначне зниження інтенсивності пульсації пальцевих артерій, очищення вогнища від некротизованих тканин було лише частковим і супроводжувалося виділенням густого гною за повної відсутності грануляцій. Спостерігалася лише незначне зменшення больової реакції та набряку. Гнійні виділення залишалися сталими, містили частинки некротизованих тканин і мали густу слизову консистенцію.

Порівняльний аналіз показав, що в дослідній групі кульгавість зникала значно швидше, тоді як у контрольній групі цей процес затягувався до 7–8 доби. Загалом ефективність лікування в дослідній групі за показником відновлення рухової активності була на 45,2% ($P < 0,001$) вищою.

Вже на 6–7-му добу лікування корови дослідної групи повністю спиралися на кінцівку та не виявляли занепокоєння під час огляду. Клінічна картина свідчила про активну регенерацію, під шаром сухого ексудату виявили рожеву грануляцію. Важливою особливістю стало формування периферичного поясу

молодого рогу шириною до 3 мм, що підтверджувало швидке відновлення тканин.

У контрольних корів на цей час також спостерігалася покращення загального стану, зменшення кульгавості та вільніше спирання на уражену кінцівку. Відзначали зниження місцевої температури та болючості, а пульсація артерій більше не реєструвалася. Поверхня основи шкіри набула рожевого відтінку завдяки появі грануляційних ділянок, проте все ще залишалися осередки з некротичними масами без ознак формування епідермальної смужки.

На 8–11-ту добу у тварин дослідної групи спостерігалася остаточна кератинізація грануляцій, що свідчило про клінічне одужання, хоча остаточна поява ознак грануляції та епітелізації копитцевого рогу відбувалася на 12–14-ту добу. У контрольних тварин процес кератинізації починався пізніше – на 13–15-ту добу, а завершення відновлення копитцевого рогу відбувалося на 16–19-ту добу.

Проаналізувавши результати лікування, можна стверджувати, що застосування гелю «Exolium» у поєднанні з внутрішньом'язовими ін'єкціями препарату кетопрофен при гнійно-некротичних ураженнях у корів сприяє швидшому очищенню вогнищ від мертвих тканин, активізує регенерацію та дозрівання грануляцій. Це дозволяє скоротити термін терапії на 4–6 діб порівняно із загальноприйнятими методами, які передбачають застосування мазі «Унісан» та ін'єкцій «Айнілу». Усе вищесказане переконливо свідчить про доцільність використання цієї терапевтичної комбінації в практиці ветеринарної медицини.

Висновки

1. У структурі хірургічної патології дистального відділу кінцівок у корів ФГ «Кавецького» провідне місце займають пальцевий дерматит (хвороба Мортелларо) та гнійні пододерматити (що становлять відповідно 28,1 % та 25,0 % від кількості хворих), які супроводжуються вираженою кульгавістю, порушенням опорної функції кінцівок і зниженням загального стану тварин.

2. Застосування комплексної терапії гнійно-некротичних уражень ділянки пальця у корів із вико-

ристанням гелю «Exolium» у поєднанні з ортопедичною розчищенням копитця, хірургічною санацією та протизапальною терапією забезпечує достовірно швидше очищення вогнищ ураження від мертвих тканин – за $6,5 \pm 0,32$ доби проти $10,5 \pm 0,48$ доби у контролі ($P < 0,001$).

3. Запропонований протокол стимулює активніше формування грануляційної тканини та епітелізації (на $8,1 \pm 0,40$ добу порівняно з $13,3 \pm 0,47$ доби у контрольній групі; $P < 0,001$), прискорює усунення ознак кульгавості та відновлення рухової активності на $45,2\%$ ($P < 0,001$), що дозволяє вірогідно скоротити терміни повного клінічного одужання тварин до $12,3 \pm 0,37$ доби порівняно з $16,3 \pm 0,47$ доби при традиційному лікуванні ($P < 0,001$) та дає підстави рекомендувати гель «Exolium» як високоефективний засіб терапії в умовах товарного виробництва.

Перспективи подальших досліджень. Майбутні наукові пошуки будуть спрямовані на поглиблене вивчення патогенезу гнійно-некротичних уражень ділянки пальця у корів з урахуванням комплексного впливу умов утримання, повноцінності годівлі та вихідного рівня природної резистентності організму тварин. Особливо перспективним і практично значущим є дослідження профілактичної ефективності гелю «Exolium», а також моніторинг його довгострокового впливу на частоту виникнення рецидивів ортопедичної патології в умовах промислового тваринництва.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що всі етапи дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Усі маніпуляції виконувалися з дотриманням вимог Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» та Директиви 2010/63/EU Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року про захист тварин, що використовуються для наукових цілей.

Лікувально-діагностичні процедури (ортопедичне розчищення, хірургічна санація гнійно-некротичних вогнищ та місцева терапія) проводилися безпосередньо в умовах тваринницького комплексу за офіційною згодою керівництва фермерського господарства. Під час фіксації та проведення хірургічних маніпуляцій тваринам забезпечували належні умови, адекватне знеболювання та гуманне поводження, що мінімізувало ризик травмування, болю чи технологічного стресу.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Автори висловлюють подяку керівництву та працівникам ФГ «Кавецького» за сприяння у проведенні досліджень, наданні доступу до тварин та створенні належних умов для виконання клінічної частини роботи.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Yurchenko, I. I. (2014). The distribution of purulent-inflammatory processes of the distal extremities of cows. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 129–132. <https://doi.org/10.31210/visnyk2014.04.25> [in Ukrainian]
2. Vlasenko, S. A. (2010). Efektyvnist kompleksnoho metodu likuvannia koriv z hniino-nekrotychnymy protsesamy v diliansi paltiv iz zastosuvanniam mazi "Nitatsyd" za dynamikoiu histolohichnykh zmin [Efficacy of a comprehensive method for treating cows with purulent-necrotic processes in the digit region using "Nitacid" ointment based on the dynamics of histological changes]. *Naukovo-Tekhnicheskii Biulleten Instituta Biologii Zhivotnykh i DNDKI Vetpreparatov i Kormovykh Dobavok*, 11 (1), 144–152. [in Ukrainian]
3. Vlasenko, S. A. (2010). Poshyrenist hineklohichnykh khvorob ta efektyvnist hormonalnoi stymulatsii i synkhronizatsii stadii zbudzhenia statevoho tsyклу u koriv z hniino-nekrotychnymy urazhenniamy v diliansi paltiv [Prevalence of gynecological diseases and efficacy of hormonal stimulation and synchronization of the estrus cycle stage in cows with purulent-necrotic lesions in the digit region]. *Biologiya Tvaryn*, 12 (1), 184–190. [in Ukrainian]
4. Klymas, A., & Puzyrevska, A. (2023). Problems of motor activity in cows with orthopaedic pathology. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, 14 (4), 74–90. <https://doi.org/10.31548/veterinary4.2023.73>
5. Emelianenko, A., Chernozub, M., Emelianenko, A., & Kozii, V. (2019). Using orthopedic shoeing for the treatment of cows with sole ulcers. *Naukovij Visnik Veterinarної Medicini*, 1 (149), 102–110. <https://doi.org/10.33245/2310-4902-2019-149-1-102-110>
6. Nahornyi, V. V., Cherniak, S. V., Chornozub, M. P., Stadyk, P. O., & Kozii, V. I. (2002). Likuvannia koriv pry hniino-nekrotychnykh protsesakh u diliansi paltiv [Treatment of cows with purulent-necrotic processes in the digit region]. *Visnyk Bilotserkivskoho Derzhavnoho Ahrarnoho Universytetu*, 21, 144–148. [in Ukrainian]
7. Grimm, K., Fiedler, A., & Kröger, C. (2025). Investigation on the effectiveness of a new hoof care product to sustainably reduce and prevent digital dermatitis in dairy cow herds. *Journal of Dairy Science*, 108 (2), 1869–1881. <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25134>
8. Rublenko, M. V., Vlasenko, S. A., Andrievskiy, V. H., Yaremchuk, A. V., Shahanenko, V. S., & Berezovskyi, A. V. (2014). Kompleks suchasnykh farmakolohichnykh zasobiv dlia likuvannia nekrobakterioznykh urazhen kopytets u velykoi rohatoi khudoby [A complex of modern pharmacological agents for the treatment of necrobacillosis lesions of claws in cattle]. *Veterynarna Medytsyna*, 98, 131–136. [in Ukrainian]
9. Yaremchuk, A., Chemerovskiy, V., Rublenko, M., Vlasenko, V., & Ilitsky, M. (2025). Monitoring of nosological forms of hoof diseases in cows under the university dairy farm conditions. *Naukovij Visnik Veterinarної Medicini*, 1 (196), 172–180. Internet Archive. <https://doi.org/10.33245/2310-4902-2025-196-1-172-180>
10. Khomyn, N., Mysak, A., Tsisinska, S., & Pritsak, V. (2018). Features of purulent pododermatitis course in cattle. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series «Veterinary Sciences»*, 20 (83), 286–289. <https://doi.org/10.15421/nvlvet8357>

11. Ladyka, V. I., Fotina, T. I., & Ulko, L. H. (2008). Pokazyvky pryrodnoi rezystentnosti koriv pry hniino-nekrotychnykh urazhenniakh kopytets [Indicators of natural resistance of cows with purulent-necrotic lesions of claws]. *Naukovyi Visnyk Lvivskoho Natsionalnoho Universytetu Veterynarnoi Medytsyny ta Biotekhnologii imeni S. Z. Gzhytskoho*, 10 (3), 134–139. [in Ukrainian].
12. Khomyn, N., Mysak, A., Iglitskej, I., & Pritsak, V. (2017). Prevalance and causes of diseases occurrence of cows hooves. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series «Veterinary Sciences»*, 19 (77), 22–26. <https://doi.org/10.15421/nvlvet7706>
13. Coetzee, J. F., Shearer, J. K., Stock, M. L., Kleinhenz, M. D., & van Amstel, S. R. (2017). An update on the assessment and management of pain associated with lameness in cattle. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 33 (2), 389–411. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2017.02.009>
14. Miguel-Pacheco, G. G., Thomas, H. J., Huxley, J. N., Newsome, R. F., & Kaler, J. (2017). Effect of claw horn lesion type and severity at the time of treatment on outcome of lameness in dairy cows. *The Veterinary Journal*, 225, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2017.04.015>
15. Griffiths, B. E., Barden, M., Anagnostopoulos, A., Bedford, C., Higgins, H., Psifidi, A., Banos, G., & Oikonomou, G. (2024). A prospective cohort study examining the association of claw anatomy and sole temperature with the development of claw horn disruption lesions in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 107 (4), 2483–2498. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23965>
16. Havlíček, Z., Novotná, I., Langova, L., Dostal, P., Votava, J., Doležal, P., & Zabransky, L. (2025). Evaluation of hoof horn quality by tensile test and hardness test using acoustic emission. *Journal of Central European Agriculture*, 26 (1), 13–21. <https://doi.org/10.5513/jcea01/26.1.4389>
17. Holzhauser, M., Hardenberg, C., Bartels, C. J. M., & Frankena, K. (2006). Herd- and cow-level prevalence of digital dermatitis in the Netherlands and associated risk factors. *Journal of Dairy Science*, 89 (2), 580–588. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72121-x](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72121-x)
18. Giancesella, M., Arfuso, F., Fiore, E., Giambelluca, S., Giudice, E., Armato, L., & Piccione, G. (2018). Infrared thermography as a rapid and non-invasive diagnostic tool to detect inflammatory foot diseases in dairy cows. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 21 (2), 299–305. <https://doi.org/10.24425/122597>
19. Khomyn, N. M., Pritsak, V. V., & Ihlytskyi, I. I. (2024). Justification of pathogenetic mechanisms of ungulomycosis in cows. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 26(115), 82–87. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11512>
20. Khomyn, N. M., Mysak, A. R., Tsisinska, S. V., Pritsak, V. V., Lenyo, Yu. M., & Khomyn, M. M. (2018). Quality of cows hoof horn by purulent pododermatitis. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 20 (92), 151–155. <https://doi.org/10.32718/nvlvet9231>
21. Klymas, A., & Syrlyk, M. (2025). Prevalence of hoof diseases in cows. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, 16 (1), 88–103. <https://doi.org/10.31548/veterinary1.2025.88>
22. Moreira, T. F., Nicolino, R. R., de Andrade, L. S., Filho, E. J. F., & de Carvalho, A. U. (2018). Prevalence of lameness and hoof lesions in all year-round grazing cattle in Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, 50 (8), 1829–1834. <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1626-3>
23. Moreira, T. F., Nicolino, R. R., Meneses, R. M., Fonseca, G. V., Rodrigues, L. M., Facury Filho, E. J., & Carvalho, A. U. (2019). Risk factors associated with lameness and hoof lesions in pasture-based dairy cattle systems in southeast Brazil. *Journal of Dairy Science*, 102 (11), 10369–10378. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-16215>
24. Sadiq, M. B., Ramanoon, S. Z., Shaik Mossadeq, W. M., Mansor, R., & Syed-Hussain, S. S. (2020). Cow- and herd-level factors associated with lameness in dairy farms in Peninsular Malaysia. *Preventive Veterinary Medicine*, 184, 105163. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105163>
25. Somers, J. R., Huxley, J. N., Doherty, M. L., & O'Grady, L. E. (2019). Routine herd health data as cow-based risk factors associated with lameness in pasture-based, spring calving Irish dairy cows. *Animals*, 9 (5), 204. <https://doi.org/10.3390/ani9050204>
26. Stotskyi, A. O., Stotskyi, O. H., & Fotina, T. I. (2020). Osoblyvosti perebihu hniino-nekrotychnykh protsesiv paltsia u koriv v zalezhnosti vid umov utrymannia [Peculiarities of the course of purulent-necrotic processes of the digit in cows depending on housing conditions]. *World Science*, 2 (3), 31–35. https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/31032020/6978 [in Ukrainian]
27. Thompson, A. J., Weary, D. M., Bran, J. A., Daros, R. R., Hötzel, M. J., & von Keyserlingk, M. A. G. (2019). Lameness and lying behavior in grazing dairy cows. *Journal of Dairy Science*, 102 (7), 6373–6382. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-15717>

ORCID

- | | |
|--|---|
| Y. Kovalchuk  | https://orcid.org/0000-0003-3677-3411 |
| S. Huralskan  | https://orcid.org/0000-0001-7383-1989 |
| H. Hryshchuk  | https://orcid.org/0000-0001-7092-2412 |
| O. Pinsky  | https://orcid.org/0000-0002-1978-5261 |
| T. Budnik  | https://orcid.org/0000-0002-9754-3938 |
| V. Karpiuk  | https://orcid.org/0000-0003-3728-5698 |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Effectiveness of the proposed method for preparation and staining of fecal smears during laboratory diagnostics of giardiasis in dogs

R. Protyven 

Article info

Correspondence Author

R. Protyven

E-mail:

romaprotiven@gmail.comNational Scientific Center
"Institute of Experimental and
Clinical Veterinary Medicine",
83 Hryhorii Skovorody St.,
Kharkiv, 61023, Ukraine

Citation: Protyven, R. (2026). Effectiveness of the proposed method for preparation and staining of fecal smears during laboratory diagnostics of giardiasis in dogs. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 195–199. doi: 10.31210/spi2026.29.01.31

Giardia duodenalis is an important gastrointestinal pathogen in dogs as well as humans. The prevalence of giardiasis varies depending on the age, clinical condition, housing, and geographic region of the animals examined, as well as the laboratory method used to detect the pathogen. For the diagnosis of protozoonosis, microscopic methods for rapid detection of cysts and trophozoites, immunological and molecular modern methods with high sensitivity and specificity are used. At the same time, improving microscopy technology, which can increase the efficiency of diagnosing giardiasis, reducing time and costs, is a relevant area of research. The aim of the research was to test the proposed method of preparing and staining fecal smears for microscopic detection of the causative agent of giardiasis in dogs. The research was conducted in the conditions of the Private Veterinary Clinic "ZooLux" (Kyiv) and the Laboratory of Parasitology of the Poltava State Agrarian University (Poltava). The method of making wet smears using saline solution, the method using iodine-glycerin solution, and the proposed method were tested in a comparative aspect. The high diagnostic sensitivity of the proposed method was established, which ensured 100 % detection of the pathogen in samples taken from dogs. In terms of the intensity of invasion, the proposed method exceeded the effectiveness of the method using iodine-glycerin solution by 7.2 % and the method of making wet smears using saline solution by 1.6 times ($P < 0.001$). It was determined that the advantage of the proposed method of preparing and staining dog feces smears during laboratory diagnostics of giardiasis is the possibility of their long-term storage and transportation. This allows obtaining reliable results, even with delayed testing, while maintaining stable pathogen morphology and high quality smear staining. The obtained research results allow us to recommend the proposed method of staining dog feces smears to increase the efficiency of giardiasis detection.

Keywords: dogs, giardiasis, laboratory diagnostics, smears, staining, performance indicators.

Ефективність запропонованого способу підготовки та фарбування мазків фекалій під час лабораторної діагностики гіардіозу собак

Р. А. Протівень

Національний науковий центр
«Інститут експериментальної
і клінічної ветеринарної
медицини»,
м. Харків, Україна

Giardia duodenalis є важливим шлунково-кишковим патогеном у собак, а також людей. Поширеність гіардіозу варіюється залежно від віку, клінічного стану, утримання та географічного регіону обстежених тварин, а також залежить від використаного лабораторного методу виявлення збудника. Для діагностики протозоозу застосовують мікроскопічні методи для швидкого виявлення цист і трофозоїтів, імунологічні та молекулярні сучасні методи з високою чутливістю та специфічністю. Водночас, удосконалення технології мікроскопії, який може підвищити ефективність діагностування гіардіозу, скоротивши час та витрати є актуальним напрямом досліджень. Метою досліджень було випробувати запропонований спосіб підготовки та фарбування мазків фекалій для мікроскопічного виявлення збудника гіардіозу у собак. Дослідження проводили в умовах приватної ветеринарної клініки «ЗООЛЮКС» (м. Київ) та лабораторії паразитології Полтавського державного аграрного університету (м. Полтава). Випробовували у порівняльному аспекті способи виготовлення вологих мазків із використанням фізіологічного розчину, спосіб із застосуванням йод-гліцеринового розчину та запропонований спосіб. Встановлено високу діагностичну чутливість запропонованого способу, що забезпечив 100 % виявлення збудника у зразках, відібраних від собак. За показником інтенсивності інвазії запропонований спосіб перевищував результативність способу із застосуванням йод-гліцеринового розчину – на 7,2 % та способу виготовлення вологих мазків із використанням фізіологічного розчину – у 1,6 рази ($P < 0,001$). Визначено, що перевагою запропонованого способу підготовки та фарбування мазків фекалій собак під час лабораторної діагностики гіардіозу є можливість тривалого їх зберігання та транспортування. Це дозволяє отримувати достовірні результати, навіть, при відтермінованому дослідженні, зберігаючи стабільну морфологію збудника та високу якість забарвлення мазка. Отримані результати досліджень дозволяють рекомендувати запропонований спосіб фарбування мазків фекалій собак для підвищення ефективності виявлення гіардій.

Ключові слова: собаки, гіардіоз, лабораторна діагностика, мазки, фарбування, показники ефективності.

Бібліографічний опис для цитування: Протівень Р. А. Ефективність запропонованого способу підготовки та фарбування мазків фекалій під час лабораторної діагностики гіардіозу собак. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 195–199.



Вступ

Giardia duodenalis – це паразитичний найпростіший організм, який локалізується у верхньому відділі кишкового тракту широкого кола господарів, включаючи людей та домашніх тварин. З генетичної точки зору, *G. duodenalis* є складним видом, що включає вісім різних видоспецифічних генетичних комплексів [1–3].

Поширеність інвазії *G. duodenalis* може значно варіюватися залежно від віку, клінічного стану, утримання та географічного регіону обстежених тварин, а також залежить від використаного методу лабораторного виявлення гіардій [4, 5]. Зокрема, наукова література свідчить, що показники поширеності гіардіозу собак у всьому світі коливаються в діапазоні 10–100 % [6].

Методи виявлення гіардій включають дослідження прямого мазку фекалій та використання центрифужної флотації із сахарозою [7, 8]. Ці методи, хоча й економічно ефективні, вимагають від техніків спеціалізованої підготовки з розпізнавання цист та трофозоїтів, а також необхідного лабораторного обладнання, такого як центрифуги та мікроскопи, залежно від процедури [9].

В Іспанії показники інвазії *G. duodenalis* у собак були встановлені на рівні 16,4–40,9 %, головним чином, за допомогою мікроскопічного дослідження [10–15]. Водночас автори зазначають, що точність мікроскопічної діагностики *G. duodenalis* обмежена наявністю в невеликій кількості трофозоїтів у фекаліях тварин з проявом діареї, періодичним виділенням цист та проведенням обстеження досвідченим техніком [16–18].

Науковці зазначають, що лабораторна діагностика гіардіозу, в основному, базується на виявленні цист у зразках фекалій за допомогою мікроскопічного дослідження. Інші методи включають виявлення антигенів, імуоферментні тести або ПЛР, які дозволяють ідентифікувати комплекси гіардій. Тому автори проводять порівняння ефективності різних методів діагностики гіардіозу у тварин. Зокрема, проведено порівняння ефективності прямого флуоресцентного тесту на антитіла, методу флотації із сульфатом цинку, швидкого діагностичного тесту та ПЛР-ампліфікації. Отримані результати демонстрували високу ефективність флуоресцентного тесту та методу флотації, тоді як швидкий діагностичний тест може бути корисним як альтернативний або додатковий метод до вищезазначених. Ефективність ПЛР була низькою, але вона дозволила визначити зоонозні генотипи *Giardia* В (25 %) та С (26 %) [19].

Автори порівнювали для виявлення *G. duodenalis* у собак мікроскопічне дослідження, імуофлуоресцентний аналіз (тест MerifluorGiardia) та імуохроматографічний аналіз (тест Idexx SNAPGiardia). Було встановлено, що всі тести були високоспецифічними (понад 90 %). Водночас, імуофлуоресцентний аналіз виявився більш чутливим. Результати цього дослідження показують, що ІФА є високоспецифічним і чутливим методом для виявлення цист *G. duodenalis*, як для використання в епідеміологічних, так і в клінічних дослідженнях. Імуохромато-

графічний аналіз є специфічним та досить чутливим методом для діагностики гіардій у клінічно уражених собак. Загалом, мікроскопічне дослідження було визнано специфічним діагностичним методом, хоча й не завжди достатньо чутливим [20].

Останнім часом дослідники вирішують питання підвищення ефективності лабораторної діагностики гіардіозу у собак шляхом удосконалення методик. Зокрема, дослідження показали, що за допомогою різних методів мікроскопічного дослідження було виявлено найвищий рівень інвазування собак – 73,4 %. Менш ефективними виявилися методи швидкого тестування та непрямий імуоферментний аналіз (ІФА) – 14,2 та 12,2 % відповідно. Науковці запропонували для підтвердження гіардіозу застосовувати метод прямої імуофлуоресценції з використанням флуорохром аcriдинового оранжевого. Використання запропонованої техніки покращує візуалізацію гіардій завдяки появі сяючого блиску, де цисти мають овальну зелену форму, а трофозоїти – сяючу зелену грушу [21].

Таким чином, значні варіації у поширеності гіардіозу серед собак у світі чітко вказують на те, що вибір найбільш ефективного і ергономічного діагностичного методу має бути результатом ретельної оцінки відомих діагностиків та доступних ресурсів.

Мета дослідження

Метою досліджень було випробувати запропонований спосіб підготовки та фарбування мазків фекалій для мікроскопічного виявлення збудника гіардіозу у собак.

Матеріали і методи

Роботу виконували впродовж 2025–2026 рр. в умовах приватної ветеринарної клініки «ЗооЛюкс» (м. Київ) та лабораторії паразитології Полтавського державного аграрного університету (м. Полтава).

З метою встановлення ефективності способу підготовки та фарбування мазків фекалій собак для мікроскопічного виявлення збудника гіардіозу було відібрано проби фекалій від собак (n=27) із характерними клінічними ознаками та підтвердженим діагнозом на гіардіоз. Кожну пробу ретельно гомогенізували й досліджували трьома способами:

1) спосіб виготовлення вологих мазків із використанням фізіологічного розчину [22];

2) спосіб із застосуванням йод-гліцеринового розчину [23];

3) запропонований спосіб підготовки та фарбування мазків фекалій із консервуванням у 10 % розчині формаліну, двоетапною гомогенізацією з розчином Люголя та дофарбовуванням безпосередньо на предметному склі.

Ефективність способів лабораторної діагностики гіардіозу в собак оцінювали за такими показниками: інтенсивність інвазії, % позитивних проб, якість візуалізації цист гіардій.

Математичний аналіз отриманих даних проводили з використанням пакета прикладних програм Microsoft «EXCEL» шляхом визначення середнього арифметичного (M), стандартного відхилення (SD) та рівня вірогідності (P) з використанням методики

однофакторного дисперсійного аналізу, використовуючи критерій Фішера.

Результати та їх обговорення

Проведеними дослідженнями встановлено, що запропонований спосіб підготовки та фарбування

мазків фекалій собак для мікроскопічного виявлення збудника гіардіозу, а також спосіб із застосуванням йод-гліцеринового розчину показали 100,0 %-ву чутливість. Водночас чутливість способу із застосуванням фізіологічного розчину виявилася нижчою та становила 88,9 % (*рис. 1*).

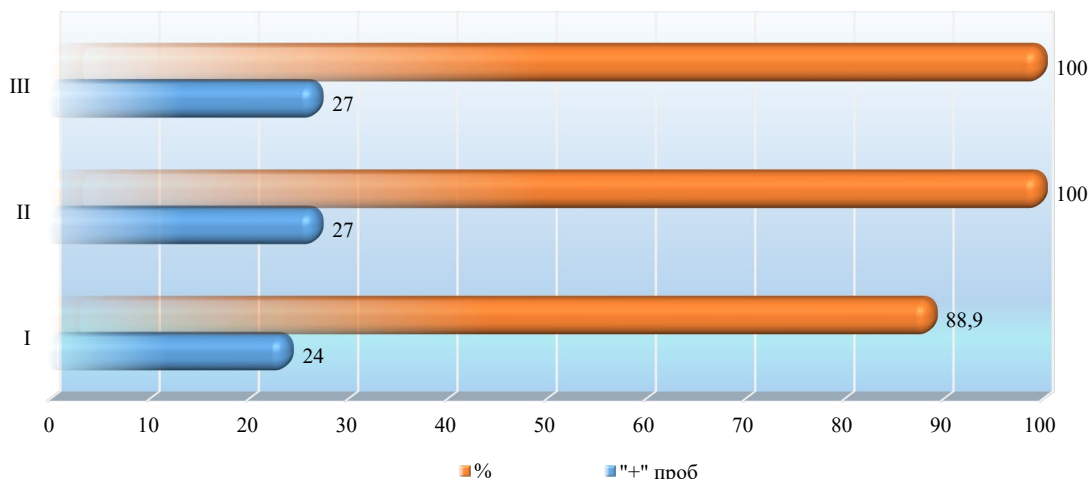


Рис. 1. Чутливість копроскопічних методів дослідження за гіардіозу собак:

I – спосіб виготовлення мазків із використанням фізіологічного розчину; II – спосіб із застосуванням йод-гліцеринового розчину; III – запропонований спосіб

У процесі встановлення кількості виявлених цист у мазку визначено, що найвищі значення отримано за використання запропонованого способу – $16,8 \pm 5,4$ екз., що більше на 7,2 % – порівняно зі способом із застосуванням йод-гліцеринового розчину ($15,6 \pm 5,7$ екз.) та у 1,6 раза – порівняно зі способом із використанням фізіологічного розчину ($15,6 \pm 5,7$ екз., $P < 0,001$) (*рис. 2*).

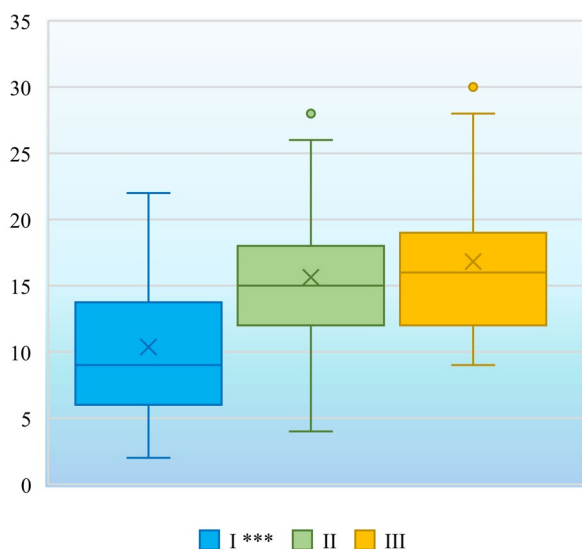


Рис. 2. Ефективність копроскопічних методів дослідження за гіардіозу собак:

I – спосіб виготовлення мазків із використанням фізіологічного розчину; II – спосіб із застосуванням йод-гліцеринового розчину; III – запропонований спосіб; *** – $P < 0,001$ – порівняно з показником запропонованого способу

За якісною оцінкою виготовлених мазків доведено технічну перевагу запропонованого способу, оскільки він забезпечує високу контрастність оболонок та внутрішніх структур цист гіардій (*рис. 3*) порівняно зі способом з використанням фізіологічного розчину (*рис. 4*) та способом із застосуванням йод-гліцеринового розчину (*рис. 5*), що суттєво полегшує диференціацію збудника від сторонніх решток, що наявні у фекаліях собак.

Визначено, що перевагою запропонованого способу підготовки та фарбування мазків фекалій собак під час лабораторної діагностики гіардіозу є можливість їх тривалого зберігання та транспортування. Це дозволяє отримувати достовірні результати навіть за відтермінованого дослідження, зберігаючи стабільну морфологію збудника та високу якість забарвлення мазка.



Рис. 3. Цисти гіардій, виявлені з використанням запропонованого способу ($\times 400$)

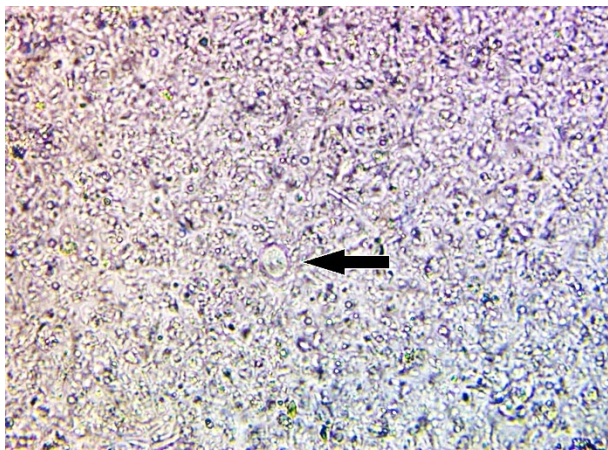


Рис. 4. Циста гіардії, виявлена з використанням способу із застосуванням фізіологічного розчину ($\times 400$)

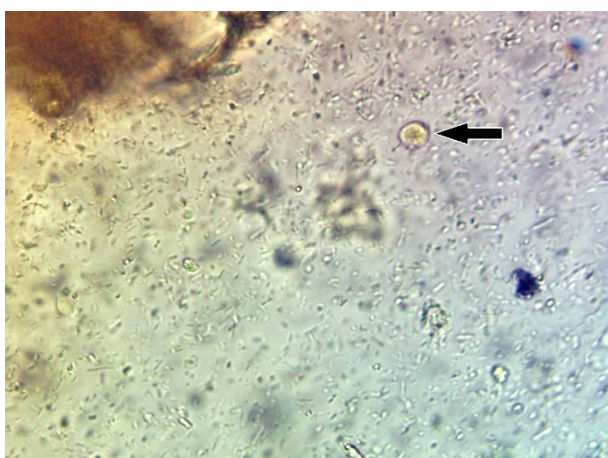


Рис. 5. Циста гіардії, виявлена з використанням способу із застосуванням йод-гліцеринового розчину ($\times 400$)

Світова література свідчить про актуальність гіардіозу як зоонозного патогену для широкого кола господарів, включаючи людей та домашніх тварин [1–5]. У зв'язку з цим важливим є проведення моніторингових досліджень поширення цієї інвазії серед собак, достовірність результатів яких безпосередньо залежить від ефективності обраного методу виявлення збудника [6–9]. Тому метою наших досліджень було удосконалити спосіб підготовки та фарбування мазків фекалій для мікроскопічного виявлення збудника гіардіозу у собак та визначити його ефективність у порівняльному аспекті із загально-відомими способами.

Встановлено високу діагностичну чутливість запропонованого способу, що забезпечило 100 % виявлення збудника у зразках, відібраних від собак. За показником інтенсивності інвазії запропонований спосіб перевищував результативність способу із застосуванням йод-гліцеринового розчину – на 7,2 % та способу виготовлення вологих мазків із використанням фізіологічного розчину – у 1,6 раза ($P < 0,001$).

Про актуальність та вищу ефективність нових, удосконалених, більш сучасних методів виявлення гіардій у собак свідчать автори, які поєднали метод прямої імуофлуоресценції та використання флуорохрому акридинового оранжевого, що покращило візуалізацію гіардій, шляхом появи сяючого блиску у цист та трофозоїтів [21].

Отримані результати досліджень дозволяють рекомендувати запропонований спосіб фарбування мазків фекалій собак для підвищення ефективності виявлення гіардій.

Висновки

Доведено високу чутливість та ефективність запропонованого способу підготовки й фарбування мазків фекалій для мікроскопічного виявлення збудника гіардіозу у собак. Його чутливість сягає 100,0 %, а діагностична ефективність перевищує результативність загальновідомого способу із застосуванням йод-гліцеринового розчину (на 7,2 %) та способу виготовлення вологих мазків із використанням фізіологічного розчину (у 1,6 раза, $P < 0,001$). Позитивний ефект запропонованого способу полягає у досягненні високої контрастності візуалізації, підвищенні точності виявлення гіардій у собак, технологічній простоті та безпеці процедури проведення дослідження.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автор заявляє, що всі етапи дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Маніпуляції виконувалися з дотриманням вимог Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» та Директиви 2010/63/EU Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року про захист тварин, що використовуються для наукових цілей.

Збір біологічного матеріалу (проб фекалій) здійснювався виключно природним шляхом (неінвазивно), що повністю виключало ризик травмування, болю чи стресу для тварин. Усі діагностичні процедури проводилися на базі ветеринарної клініки за офіційною інформованою згодою власників собак. Під час клінічного огляду тваринам забезпечували належні умови та гуманне поводження.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автор заявляє, що не використовував штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Volotão, A. C., Costa-Macedo, L. M., Haddad, F. S. M., Brandão, A., Peralta, J. M., & Fernandes, O. (2007). Genotyping of *Giardia duodenalis* from human and animal samples from Brazil using β -giardin gene: A phylogenetic analysis. *Acta Tropica*, 102 (1), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2007.02.010>
2. Feng, Y., & Xiao, L. (2011). Zoonotic Potential and Molecular epidemiology of *Giardia* species and giardiasis. *Clinical Microbiology Reviews*, 24 (1), 110–140. <https://doi.org/10.1128/cmr.00033-10>
3. Heyworth, M. F. (2016). *Giardia duodenalis* genetic assemblages and hosts. *Parasite*, 23, 13. <https://doi.org/10.1051/parasite/2016013>
4. Ballweber, L. R., Xiao, L., Bowman, D. D., Kahn, G., & Cama, V. A. (2010). Giardiasis in dogs and cats: update on epidemiology and public health significance. *Trends in Parasitology*, 26 (4), 180–189. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2010.02.005>
5. Rishniw, M., Liotta, J., Bellosa, M., Bowman, D., & Simpson, K. W. (2010). Comparison of 4 *Giardia* diagnostic tests in diagnosis of naturally acquired canine chronic subclinical giardiasis. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 24 (2), 293–297. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2010.0475.x>
6. Thompson, R. C. A., Palmer, C. S., & O'Handley, R. (2008). The public health and clinical significance of *Giardia* and *Cryptosporidium* in domestic animals. *The Veterinary Journal*, 177 (1), 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2007.09.022>
7. Zajac, A. M., Conboy, G. A., Little, E. E., & Reichard, M. V. (2021). *Veterinary clinical parasitology* (9th ed.). Wiley-Blackwell.
8. Bowman, D. D. (2014). *Georgis' parasitology for veterinarians* (10th ed.). Elsevier.
9. Paul, S., Chandra, D., Tewari, A. K., Banerjee, P. S., Ray, D. D., Boral, R., & Rao, J. R. (2009). Comparative evaluation and economic assessment of coprological diagnostic methods and PCR for detection of *Cryptosporidium* spp. in bovines. *Veterinary Parasitology*, 164 (2–4), 291–295. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.06.015>
10. de Lucio, A., Bailo, B., Aguilera, M., Cardona, G. A., Fernández-Crespo, J. C., & Carmena, D. (2017). No molecular epidemiological evidence supporting household transmission of zoonotic *Giardia duodenalis* and *Cryptosporidium* spp. from pet dogs and cats in the province of Álava, Northern Spain. *Acta Tropica*, 170, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2017.02.024>
11. Gil, H., Cano, L., de Lucio, A., Bailo, B., de Mingo, M. H., Cardona, G. A., Fernández-Basterra, J. A., Aramburu-Aguirre, J., López-Molina, N., & Carmena, D. (2017). Detection and molecular diversity of *Giardia duodenalis* and *Cryptosporidium* spp. in sheltered dogs and cats in Northern Spain. *Infection, Genetics and Evolution*, 50, 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2017.02.013>
12. Drake, J., Sweet, S., Baxendale, K., Hegarty, E., Horr, S., Friis, H., Goddu, T., Ryan, W. G., & von Samson-Himmelstjerna, G. (2022). Detection of *Giardia* and helminths in Western Europe at local K9 (canine) sites (DOGWALKS Study). *Parasites & Vectors*, 15 (1), 311. <https://doi.org/10.1186/s13071-022-05440-2>
13. Mateo, M., Montoya, A., Bailo, B., Köster, P. C., Dashti, A., Hernández-Castro, C., Saugar, J. M., Matas, P., Xiao, L., & Carmena, D. (2023). Prevalence and public health relevance of enteric parasites in domestic dogs and cats in the region of Madrid (Spain) with an emphasis on *Giardia duodenalis* and *Cryptosporidium* sp. *Veterinary Medicine and Science*, 9 (6), 2542–2558. <https://doi.org/10.1002/vms3.1270>
14. Sanchez-Thevenet, P., Carmena, D., Adell-Aledón, M., Dacal, E., Arias, E., Saugar, J. M., Rodríguez, E., & Dea-Ayuela, M. A. (2019). High prevalence and diversity of zoonotic and other intestinal parasites in dogs from Eastern Spain. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 19 (12), 915–922. <https://doi.org/10.1089/vbz.2019.2468>
15. Dado, D., Montoya, A., Blanco, M. A., Miró, G., Saugar, J. M., Bailo, B., & Fuentes, I. (2012). Prevalence and genotypes of *Giardia duodenalis* from dogs in Spain: possible zoonotic transmission and public health importance. *Parasitology Research*, 111 (6), 2419–2422. <https://doi.org/10.1007/s00436-012-3100-x>
16. Zimmer, J. F., & Burrington, D. B. (1986). Comparison of four protocols for the treatment of canine giardiasis. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 22, 168–172.
17. Kirkpatrick, C. E., & Farrell, J. P. (1984). Feline giardiasis: Observations on natural and induced infections. *American Journal of Veterinary Research*, 45 (10), 2182–2188. <https://doi.org/10.2460/ajvr.1984.45.10.2182>
18. Barr, S. C., & Bowman, D. D. (1994). Giardiasis in dogs and cats. *The Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian*, 16, 603–609.
19. Gabrielli, S., Milardi, G. L., Scarinci, L., Fani, C., & Trotta, M. (2024). Comparative performance evaluation of four different methods for diagnosing *Giardia* infection in dogs and zoonotic assemblages' identification. *Veterinary Parasitology*, 329, 110192. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2024.110192>
20. Geurden, T., Berkvens, D., Casaert, S., Vercruysse, J., & Claerebout, E. (2008). A Bayesian evaluation of three diagnostic assays for the detection of *Giardia duodenalis* in symptomatic and asymptomatic dogs. *Veterinary Parasitology*, 157 (1–2), 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2008.07.002>
21. Sultan, S. R., & Al-Mola, E. D. H. (2022). Laboratory techniques for diagnosing *Giardia* parasite in dogs in Mosul City, Iraq. *International Journal of Health Sciences*, 10467–10473. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns3.9495>
22. Anjali, A., Kakru, D. K., Bhatt, R., & Sharma, S. K. (2025). Comparative analysis of wet mount and concentration methods for detecting intestinal parasites in fecal specimens. *South Asian Journal of Parasitology*, 8 (3), 279–288. <https://doi.org/10.9734/sajp/2025/v8i3234>
23. Afroz, H., Alam, G. M. R., Hossain, M. M., Fakrudin, M., Rahman, M. H., Khan, Z. U. M., & Datta, S. (2013). Evaluation of iodine-glycerol for wet-mount preparation of feces for detection of intestinal parasites. *International Journal of Biological & Medical Research*, 4 (4), 3615–3618.

ORCID

R. Prottyen 

<https://orcid.org/0009-0001-2243-7372>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Clinical and hematological features of acute and chronic otitis in dogs

D. Plekhanov✉

Article info

Correspondence Author

D. Plekhanov

E-mail:

danielplekhanov1999@gmail.comPoltava State Agrarian
University,
Skovoroda Str., 1/3, Poltava,
36000, Ukraine**Citation:** Plekhanov, D. (2026). Clinical and hematological features of acute and chronic otitis in dogs. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 200–205. doi: 10.31210/spi2026.29.01.32

The study presents the clinical features and hematological alterations in peripheral blood of dogs with acute and chronic inflammation of the external auditory canal. The relevance of the research is determined by the high prevalence of otitis in companion animals and the need to identify reliable and objective laboratory criteria for assessing the stage and severity of the inflammatory process. The aim of the study was to perform a comparative clinical and hematological analysis and to identify characteristic patterns of changes in peripheral blood parameters in dogs with acute and chronic otitis. The study was conducted at the Department of Infectious Pathology, Hygiene, Sanitation and Biosafety and at the Shared Research Facilities Center “One Health in Animal Husbandry and Veterinary Medicine”. Three groups of dogs were formed for the investigation (10 animals per group): a clinically healthy control group, a group with acute otitis, and a group with chronic otitis. Hematological examinations were performed using the AI-100VET Awalife automated multifunctional hematology analyzer. Acute otitis was characterized by pronounced pain and intense pruritus in 100% of animals, as well as hyperemia and edema of the external auditory canal epithelium in 80 % of dogs. At the systemic level, these changes were accompanied by a significant increase ($p < 0.05$) in total leukocyte count by 57.8 %, an increase in neutrophil proportion by 25.8 %, relative lymphopenia (43.3 % decrease), and a threefold elevation in erythrocyte sedimentation rate (ESR) compared with the control group. Chronic otitis was associated with less pronounced pain but was characterized by irreversible structural alterations, including thickening of the auditory canal walls (100 %) and canal stenosis (70 %). Hematological examination of dogs with chronic otitis revealed moderate leukocytosis (31.1 % higher than in controls, $p < 0.05$) and persistent suppression of erythropoiesis. A significant decrease in hemoglobin concentration by 9.0 % ($p < 0.05$) and erythrocyte count by 10.8 % was recorded, indicating the development of anemia. The obtained results may contribute to the optimization of diagnostic monitoring protocols in clinical veterinary medicine and provide an objective and comprehensive assessment of the severity of systemic involvement and endogenous intoxication in animals with diseases of the auditory apparatus.

Keywords: dogs, otitis, clinical status, hematological profile, leukocytosis, erythrocyte sedimentation rate, anemia of chronic inflammation.

Клініко-гематологічні особливості перебігу гострого та хронічного отиту у собак

Д. А. Плеханов

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

У роботі висвітлено особливості клінічного перебігу та характер змін гематологічних показників периферичної крові у собак за гострого та хронічного запалення зовнішнього слухового проходу. Актуальність дослідження зумовлена високою поширеністю отитів у дрібних домашніх тварин та потребою в пошуку надійних і об'єктивних лабораторних критеріїв для оцінки стадійності та тяжкості перебігу запального процесу. Метою роботи було провести порівняльний клініко-гематологічний аналіз та виявити характерні закономірності змін показників периферичної крові у собак за гострого та хронічного перебігу отиту. Дослідження проведено в умовах кафедри інфекційної патології, гігієни, санітарії та біобезпеки, а також центру колективного користування науковим обладнанням «One Health у тваринництві та ветеринарній медицині». Для проведення дослідження було сформовано три групи собак (по 10 тварин у кожній): контрольну, дослідну з гострим перебігом отиту та дослідну з хронічним перебігом отиту. Лабораторний аналіз здійснювали за допомогою автоматичного багатофункціонального морфологічного аналізатора AI-100VET Awalife. Встановлено, що гострий отит характеризується вираженим больовим синдромом та інтенсивним свербіжем у 100 % тварин, гіперемією та набряком епітелію у 80 % собак, що на системному рівні супроводжується вірогідним ($p < 0.05$) збільшенням кількості лейкоцитів на 57,8 %, зростанням частки нейтрофілів на 25,8 % на тлі відносної лімфопенії (зниження на 43,3 %) та прискоренням ШОЕ у 3 рази відносно контролю. Хронічна форма отиту супроводжується менш вираженою больовою реакцією, але характеризується незворотними змінами – потовщенням стінок слухового проходу (100 %) та його стенозом (70 %). У периферичній крові при хронічному перебігу реєструється помірний лейкоцитоз (на 31,1 % вище контролю, $p < 0.05$) та стійке пригнічення еритроцитопоезу. Зафіксовано вірогідне зниження гемоглобіну на 9,0 % ($p < 0.05$) та кількості еритроцитів на 10,8 %, що вказує на розвиток анемії. Отримані результати дозволяють оптимізувати протоколи діагностичного моніторингу в клінічній ветеринарній медицині та забезпечують можливість об'єктивно й комплексно оцінювати ступінь системного ураження та загальної ендогенної інтоксикації організму тварин при патологіях слухового апарату.

Ключові слова: собаки, отит, клінічний статус, гематологічний профіль, лейкоцитоз, ШОЕ, анемія хронічного запалення.



Бібліографічний опис для цитування: Плеханов Д. А. Клініко-гематологічні особливості перебігу гострого та хронічного отиту у собак. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 200–205.

Вступ

В останні роки отит у собак залишається однією з найпоширеніших патологій у практиці ветеринарної медицини дрібних домашніх тварин. Особливе місце серед захворювань органів слуху займає зовнішній отит, який характеризується запаленням зовнішнього слухового проходу та супроводжується розвитком локальних і системних патологічних змін в організмі тварини. За даними епізоотологічних та клінічних досліджень, поширеність зовнішнього отиту серед собак коливається від 7 до 20 %, що свідчить про значну актуальність даної патології для сучасної ветеринарної практики [1–3].

Етіологія отиту у собак є багатофакторною та включає алергічні захворювання, паразитарні інвазії, бактеріальні та грибкові інфекції, анатомічні особливості будови вушної раковини, порушення місцевого імунітету та вплив факторів навколишнього середовища. Встановлено, що найбільш схильними до розвитку отиту є породи з висяченими вушними раковинами та звуженим слуховим проходом, у яких створюються сприятливі умови для накопичення ексудату та розвитку патогенної мікрофлори [4–6].

Клінічний перебіг захворювання може варіювати від гострого локального запалення до хронічного процесу із розвитком незворотних морфологічних змін у тканинах слухового проходу. Найхарактернішими клінічними ознаками гострого отиту є свербіж, болючість, гіперемія, набряк тканин та надмірне утворення ексудату. За відсутності своєчасного лікування патологічний процес нерідко переходить у хронічну форму, що супроводжується потовщенням стінок слухового проходу, його стенозом, гіперплазією епітелію та частими рецидивами захворювання [7–9].

Важливим напрямом сучасних досліджень є вивчення механізмів розвитку системної запальної реакції при отиті. Відомо, що локальний інфекційно-запальний процес супроводжується активацією клітин вродженого імунітету, синтезом прозапальних цитокінів та змінами гематологічних показників крові. Дослідження останніх років демонструють важливу роль медіаторів запалення у формуванні клінічних проявів захворювання та підтриманні хронічного перебігу патологічного процесу [10, 13, 14].

Незважаючи на значну кількість робіт, присвячених етіології, мікробіологічним аспектам та лікуванню отиту у собак, питання змін показників периферичної крові залежно від характеру перебігу захворювання вивчені недостатньо. Більшість сучасних досліджень зосереджена на видовому складі мікроорганізмів, їх антибіотикорезистентності та локальних змінах у вусі, тоді як особливості системної відповіді організму за гострого та хронічного перебігу отиту потребують подальшого вивчення [1, 2, 5, 7, 11, 12, 15, 17, 19].

Гематологічні показники периферичної крові є важливими об'єктивними критеріями оцінки активності запального процесу, ступеня реактивності організму та ефективності лікувальних заходів. Визначення особливостей змін лейкоцитарної формули, показників еритроцитарної ланки кровотворення та швидкості осідання еритроцитів може сприяти удосконаленню діагностичних підходів і

підвищенню ефективності моніторингу стану тварин за отиту [1, 2, 4].

Мета дослідження

Мета дослідження: провести порівняльний клініко-гематологічний аналіз собак за гострого та хронічного перебігу отиту та встановити характерні закономірності змін показників периферичної крові залежно від стадії патологічного процесу.

Матеріали і методи

Клініко-гематологічні дослідження проведено в умовах кафедри інфекційної патології, гігієни, санітарії та біобезпеки, а також центру колективного користування науковим обладнанням «One Health у тваринництві та ветеринарній медицині» Полтавського державного аграрного університету. Лабораторний аналіз здійснювали за допомогою автоматичного багатофункціонального морфологічного аналізатора AI-100VET Awalife.

Для проведення експерименту за принципом клінічних аналогів було сформовано піддослідну вибірку з 30 собак віком від 2 до 7 років, різної статі, маси тіла (від 3 до 6 кг) та породної належності. Усіх тварин було розподілено на три рівні групи (по 10 тварин у кожній) залежно від клінічного статусу та характеру перебігу патології:

Група I (контрольна) – клінічно здорові собаки, у яких за результатами загального огляду та отоскопії не виявлено ознак патологій слухового апарату;

Група II (гострий отит) – тварини з первинними ознаками гострого запалення зовнішнього або середнього слухового проходу, тривалість перебігу захворювання у яких на момент огляду не перевищувала 10 діб;

Група III (хронічний отит) – собаки з тривалістю перебігу запального процесу понад 1 місяць, що характеризувалися рецидивним або стійким перебігом і наявністю видимих структурних змін у тканинах вуха.

Діагноз підтверджували комплексно. Для цього враховували дані анамнезу, результати загального клінічного обстеження тварин, пальпації вушної раковини, отоскопії вертикального та горизонтального каналів, а також цитологічного дослідження виділень і мазків-відбитків із зовнішнього слухового проходу.

Матеріалом для гематологічних досліджень була цільна кров, яку відбирали з латеральної підшкірної вени гомілки з дотриманням загальноприйнятих правил асептики та антисептики. Кров збирали у вакуумні пробірки з літій-гепарином. Лабораторні дослідження виконували одразу після забору матеріалу. Визначення гематологічного профілю здійснювали на автоматичному багатофункціональному морфологічному аналізаторі AI-100VET Awalife. Програма досліджень передбачала оцінку таких параметрів: кількість еритроцитів (RBC, $\times 10^{12}/л$); концентрація гемоглобіну (Hb, г/л); гематокрит (Ht, %); загальна кількість лейкоцитів (WBC, $\times 10^9/л$); лейкограма із виведенням відсоткового співвідношення нейтрофілів та лімфоцитів (%); швидкість осідання еритроцитів (ШОЕ, мм/год).

Отримані цифрові дані піддавали математичному аналізу методами варіаційної статистики з визначенням середнього арифметичного значення (М) та помилки середнього (m). Вірогідність міжгрупових відмінностей оцінювали за допомогою t-критерію Стюдента. Зміни вважали статистично достовірними за рівня значущості $p < 0,05$.

Таблиця 1

Частота прояву клінічних ознак у собак за гострого та хронічного отиту (% , n=10)

Клінічна ознака	Гострий отит (Група II)	Хронічний отит (Група III)	Клінічна характеристика симптому
Больовий синдром	100	20	При гострому перебігу біль має інтенсивний характер: тварина постійно трясє головою, скиглить або виявляє занепокоєння під час огляду вуха. При хронічному – больова реакція притуплена і фіксується переважно під час глибокого обмацування (пальпації)
Інтенсивний свербіж	100	40	При гострому перебігу свербіж постійний та інтенсивний: тварина безперервно чеше вуха лапами або третєся ними об навколишні предмети. При хронічному – свербіж періодичний, на шкірі візуалізуються наслідки тривалого самотравмування: подряпини, ділянки алопеції та рани.
Гіперемія та набряк стінок зовнішнього слухового проходу	80	100	При гострому отиті відзначається яскраво-червоне дифузне забарвлення (артеріальна гіперемія) та місцеве підвищення температури. При хронічному – шкіра набуває синюшного відтінку (венозний застій) із ознаками застійного набряку тканин
Ексудація (патологічні виділення)	70	80	При гострому перебігу – рідкий серозний або гнійний ексудат. При хронічному – виділення густі, мазеподібні, темно-коричневого або жовтуватого кольору
Специфічний запах	70	80	При гострому отиті – гнильний, що супроводжує гостре руйнування клітин епітелію. При хронічному – кислий або аміачний, що безпосередньо асоційовано з життєдіяльністю та тривалою персистенцією патогенної мікрофлори
Потовщення стінок стінок слухового проходу	0	100	Вказує на хронічний перебіг запалення, що супроводжується розростанням і потовщенням епідермісу та заміщенням здорових тканин сполучною тканиною
Стеноз (звуження просвіту) проходу	0	70	Розвивається через значне розростання тканин слухового каналу. Це звуження суттєво ускладнює природне виведення накопиченого запального ексудату та самоочищення вуха
Деформація вушного хряща	0	20	Розвивається за тривалої персистенції патогенів через залучення до фіброзного процесу глибоких хрящових структур.
Системна реакція (апатія, зниження апетиту / повна його втрата)	60	10	При гострому отиті відображає ступінь ендогенної інтоксикації та резорбтивну дію біологічно активних речовин із вогнища ураження. При хронічному – вказує на виснаження адаптаційно-компенсаторних механізмів та супресію імунної відповіді на тлі тривалого запалення
Підвищення температури тіла	40	0	При гострому отиті це є результатом системної відповіді організму на первинне ушкодження тканин та пірогенну дію токсинів. При хронічному – температурна реакція зазвичай відсутня через локалізацію процесу та виснаження імунної реактивності

Аналіз даних **таблиці 1** показує, що для гострого отиту характерною є яскрава клінічна картина з проявом больового синдрому, інтенсивного свербіжу та загальною реакцією організму (апатія, зниження апетиту / повна його втрата). Натомість хронічний отит перебігає з менш вираженими ознаками гострого болю, але супроводжується глибокими, стійкими змінами слухового каналу (потовщення стінок у 100 % випадків, стеноз – у 70 %), що вказує на переважання проліферативних процесів над ексудативними.

Оскільки виявлена локальна симптоматика та ступінь деструкції тканин зовнішнього вуха безпосередньо залежать від інтенсивності імунної відповіді організму, виключно візуального огляду пацієнтів недостатньо для повної оцінки тяжкості патологічного процесу. Локальна запальна реакція неминує викликає резорбтивну дію, запускаючи каскад системних реакцій, які найперше відображаються на морфологічному складі клітин периферичної крові.

Результати та їх обговорення

Під час первинного клінічного огляду піддослідних тварин було встановлено, що характер та інтенсивність прояву симптомів чітко диференціювалися залежно від форми перебігу запального процесу (**табл. 1**).

У зв'язку з цим наступним етапом роботи стало проведення лабораторного моніторингу. Здійснений аналіз гематологічного профілю дозволив встановити, що системні зміни клітинного складу та фізико-хімічних властивостей периферичної крові собак повністю корелювали з виявленими клінічними ознаками, а характер і глибина цих зрушень безпосередньо визначалися формою та тривалістю перебігу отиту (**табл. 2**).

Аналіз даних **таблиці 2** свідчить, що розвиток гострого запального процесу в слуховому апараті (група II) супроводжується інтенсивною мобілізацією захисних сил організму. Це підтверджується різким і статистично вірогідним збільшенням загальної кількості циркулюючих лейкоцитів на 57,8 % ($p < 0,05$) порівняно з показниками контрольної групи. На тлі загального лейкоцитозу реєстрували суттєву перебудову структури лейкограми: частка нейтрофільних гранулоцитів вірогідно зросла на 25,8 % ($p < 0,05$), тоді як відносний вміст лімфоцитарної ланки, навпаки, суттєво знизився – на 43,3 % ($p < 0,05$) порівняно з клінічно здоровими тваринами.

Таблиця 2

Гематологічні показники крові собак за різних форм перебігу отиту ($M \pm m$, $n=10$)

Показник	Контрольна група (Група I)	Гострий отит (Група II)	Хронічний отит (Група III)
Еритроцити, $\times 10^{12}/л$	$6,5 \pm 0,4$	$6,0 \pm 0,5$	$5,8 \pm 0,6$
Гемоглобін, г/л	$145,0 \pm 7,0$	$138,0 \pm 8,0$	$132,0 \pm 10,0$
Гематокрит, %	$42,0 \pm 4,0$	$49 \pm 7,0$	$38 \pm 5,0$
Лейкоцити, $\times 10^9/л$	$9,0 \pm 1,0$	$14,2 \pm 2,1^*$	$11,8 \pm 1,5^*$
ШОЕ, мм/год	$5,0 \pm 2,0$	$15,0 \pm 4,0^*$	$11,0 \pm 3,0^*$
Нейтрофіли, %	$62,0 \pm 4,0$	$78,0 \pm 6,0^*$	$70,0 \pm 5,0^*$
Лімфоцити, %	$30,0 \pm 4,0$	$17,0 \pm 3,0^*$	$22,0 \pm 4,0^*$

Примітка: * – $p < 0,05$ – статистично достовірно відносно показників тварин контрольної групи.

Такий перерозподіл клітин є класичним маркером гострої фази гнійно-запального процесу. Він відображає гіперактивацію мієлоїдного ростка кісткового мозку у відповідь на бактеріальну інфекцію та масивну міграцію зрілих фагоцитів безпосередньо у вогнище ураження.

Про високу інтенсивність системного запального процесу за гострого отиту свідчить також стрімке прискорення швидкості осідання еритроцитів, яка, вірогідно, перевищила контроль у 3 рази ($p < 0,05$). Цей зсув патогенетично зумовлений вираженою диспротеїнемією – накопиченням у руслі крові гострофазових білків запалення, які знижують поверхневий заряд еритроцитарних мембран і стимулюють їх агрегацію. Натомість червона ланка крові за гострого перебігу суттєвих змін не зазнала: відзначалося лише тенденційне зниження кількості еритроцитів та гемоглобіну (в межах 7,7 % та 4,8 % відповідно, $p > 0,05$), що відбувалося на тлі підвищення гематокриту на 16,7 % через відносну дегідратацію організму.

За хронізації запального процесу (група III) лабораторний профіль принципово змінювався. Загальна кількість лейкоцитів залишалася вірогідно підвищеною відносно контролю, проте динаміка її зростання була менш інтенсивною та становила 31,1 % ($p < 0,05$). У лейкоцитарній формулі зберігалася статистично значуща нейтрофілія – вище контрольних значень на 12,9 % ($p < 0,05$), проте рівень лімфоцитів продемонстрував тенденцію до відновлення, залишаючись нижчим за клінічно здорових тварин на 26,7 % ($p < 0,05$). Така картина вказує на затухання гострої гранулоцитарної відповіді та перехід імунного захисту на мононуклеарно-клітинний рівень, характерний для тривалого запалення. Значення ШОЕ за хронічного отиту також стабільно перевищували норму у 2,2 рази ($p < 0,05$), підтверджуючи безперервний перебіг патологічного процесу в тканинах вуха.

Провідною патогенетичною ознакою затяжного перебігу запалення виявилось суттєве зниження активності еритропоезу. Кількість еритроцитів зменшилася на 10,8 %, а концентрація гемоглобіну вірогідно знизилася на 9,0 % ($p < 0,05$) порівняно

з контрольною групою на тлі падіння гематокриту на 9,5 %.

Отримані нами дані узгоджуються із сучасними уявленнями про патогенез отиту у собак, де ключову роль відіграє поєднання локального запалення та системної імунної відповіді. Гострий отит характеризується класичною картиною гострофазової реакції з нейтрофільним лейкоцитозом, лімфопенією та прискоренням ШОЕ, що відображає активацію вродженого імунітету та масивну міграцію нейтрофілів у вогнище запалення. Подібні зміни описані у дослідженнях, де підкреслюється роль бактеріальної інфекції та цитологічної картини у формуванні тяжкості перебігу отиту у собак. Додатково встановлено, що вираженість запалення корелює з цитологічними показниками та OTIS-3, що підтверджує інформативність гематологічного профілю як об'єктивного маркера активності процесу [3, 4, 13, 16, 20].

За хронічного перебігу отиту спостерігається перехід від гострої ексудативної фази до проліферативно-дегенеративних змін, що супроводжується менш інтенсивним, але стабільним лейкоцитозом і ознаками пригнічення еритропоезу. Зниження рівня гемоглобіну та еритроцитів відповідає розвитку анемії хронічного запалення, яка формується під впливом тривалого вивільнення прозапальних цитокінів та порушення метаболізму заліза. Подібні системні зміни при хронічних запальних процесах у собак описані в роботах, де встановлено зв'язок між тривалим отитом та підвищенням системних маркерів запалення, зокрема CRP, і клітинними змінами периферичної крові. Крім того, сучасні дослідження підтверджують, що хронічний отит супроводжується мікробіологічною перебудовою та персистенцією патогенів, що підтримує низькоінтенсивне системне запалення [1, 2, 12, 17, 18].

Таким чином, отримані результати підтверджують, що гематологічні показники периферичної крові є інформативним інструментом для диференціації гострого та хронічного перебігу отиту у собак. Комплексне використання показників білої та червоної крові дозволяє не лише оцінити інтенсивність запального процесу, а й прогнозувати його перебіг, що узгоджується з сучасними підходами до діагностики та моніторингу отитів у ветеринарній практиці.

Висновки

Комплексний порівняльний аналіз довів, що характер клінічної симптоматики та зсуви в гематологічному профілі периферичної крові собак чітко диференціюються залежно від стадійності запального процесу: гостра фаза отиту характеризується вираженим больовим синдромом та свербезом (100 %) у поєднанні з інтенсивною серозно-гнійною ексудацією, що на системному рівні викликає стан ендогенної інтоксикації, виражений нейтрофільним лейкоцитозом (збільшення кількості лейкоцитів на 57,8 % та нейтрофілів на 25,8 %, $p < 0,05$) і прискорення ШОЕ у 3 рази; натомість хронічна форма перебігу характеризується менш інтенсивною

больовою реакцією, але супроводжується глибокими незворотними змінами архітекtonіки слухового каналу (потовщення стінок у 100 % та стеноз – у 70 % хворих собак), а у судинному руслі призводить до стабілізації лейкоцитарної реакції (на 31,1 % вище контролю, $p < 0,05$) та стійкого пригнічення еритропоезу зі зниженням концентрації гемоглобіну на 9,0 % ($p < 0,05$) і чисельності еритроцитів на 10,8 %, що є прямим патогенетичним підтвердженням розвитку синдрому анемії хронічного запалення та обґрунтовує високу діагностичну й прогностичну цінність лабораторного моніторингу показників червоної та білої ланок крові для об'єктивного визначення фази та тяжкості перебігу отитів у ветеринарній практиці.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що всі проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Клінічна та експериментальна частини роботи виконувалися з суворим дотриманням вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження», а також Директиви 2010/63/EU Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року про захист тварин, що використовуються для наукових цілей.

Усі діагностичні маніпуляції та процедури проводилися виключно після отримання офіційної інформованої згоди від власників тварин на участь у дослідженні. Під час виконання дослідів хворим тваринам забезпечувалися належні умови утримання, якісний догляд, збалансована годівля, а також повна мінімізація будь-яких стресових, больових чи дискомфортних чинників.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автор заявляє, що не використовував штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

- Lorek, A., Dennis, R., van Dijk, J., & Bannoehr, J. (2019). Occult otitis media in dogs with chronic otitis externa – magnetic resonance imaging and association with otoscopic and cytological findings. *Veterinary Dermatology*, 31 (2), 146-e28. <https://doi.org/10.1111/vde.12817>
- Leonard, C., Thiry, D., Taminiau, B., Daube, G., & Fontaine, J. (2022). External ear canal evaluation in dogs with chronic suppurative otitis externa: Comparison of direct cytology, bacterial culture and 16S amplicon profiling. *Veterinary Sciences*, 9 (7), 366. <https://doi.org/10.3390/vetsci9070366>
- Buendia, E., & Germain, P. A. (2024). Evaluation of plasma canine C-reactive protein concentrations in dogs with otitis media, healthy dogs and dogs with chronic otitis externa. *Veterinary Dermatology*, 35 (3), 337–345. <https://doi.org/10.1111/vde.13241>
- Yoon, J.-S., & Park, J. (2024). Non-invasive evaluation of cytokine expression using the cerumen of dogs with otitis externa. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1355569>
- Song, Y., Kim, S., Mukhopadhyay, S., Youssef, S. H., Tan, J. Q. E., Weir, E. J., Page, S. W., & Garg, S. (2025). Therapeutic and formulation innovations in the management of canine otitis externa. *Pharmaceutics*, 17 (10), 1332. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17101332>
- Heuer, L., Wilhelm, C., Roy, O., Löhlein, W., Wolf, O., & Zschiesche, E. (2024). Clinical safety and efficacy of a single-dose gentamicin, posaconazole and mometasone furoate otic suspension for treatment of canine otitis externa. *Veterinary Record*, 194 (9), e3955. <https://doi.org/10.1002/vetr.3955>
- Ponn, P. C., Tipold, A., & Volk, A. V. (2024). Can we minimize the risk of dogs developing canine otitis externa? – A retrospective study on 321 dogs. *Animals*, 14 (17), 2537. <https://doi.org/10.3390/ani14172537>
- Ramos, F. O., Filgueiras, R., Teixeira, M. A., Melo, L. H. A., Araújo, M. R. F., Morgado, A. L. F., Lira, G. A., Gomes, M. E. N., Campos, L. R. S., Melo, C. B., Castro, M. B., Vianna, A. R. C. B., & Lima, E. M. M. (2026). Long-term management of recurrent otitis externa in dogs using a two-phase protocol involving ciprofloxacin-clotrimazole-betamethasone and topical hydrocortisone aceponate. *BMC Veterinary Research*, 22 (1). <https://doi.org/10.1186/s12917-025-05200-1>
- Hassan, M., Kekeç, A. I., Halaç, B., & Kahraman, B. B. (2023). Otitis externa in dogs: Distribution and antimicrobial susceptibility patterns of *Staphylococcus* spp. isolates. *Macedonian Veterinary Review*, 46 (1), 43–50. <https://doi.org/10.2478/macvetrev-2023-0012>
- Bond, R. (2012). Self assessment test: Selecting ear drops for dogs with otitis externa. *In Practice*, 34 (7), 392–399. <https://doi.org/10.1136/inp.e4891>
- Singh, S., Tiwari, A., Das, G., Gupta, D., Mishra, A., & Dawar, P. (2024). Epidemiological studies on otitis externa in dogs. *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8 (7), 48–52. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i7a.1432>
- Harvey, R. (2022). A review of recent developments in veterinary otology. *Veterinary Sciences*, 9 (4), 161. <https://doi.org/10.3390/vetsci9040161>
- Moruzi, R., Morar, D., Văduva, C., Boboc, M., Dumitrescu, E., Muselin, F., Puvača, N., & Cristina, R. (2023). Leukogram patterns significance and prevalence for an accurate diagnosis in dogs. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 74 (1), 5193–5202. <https://doi.org/10.12681/jhvms.28696>
- King, S. B., Doucette, K. P., Seewald, W., & Forster, S. L. (2018). A randomized, controlled, single-blinded, multicenter evaluation of the efficacy and safety of a once weekly two dose otic gel containing florfenicol, terbinafine and betamethasone administered for the treatment of canine otitis externa. *BMC Veterinary Research*, 14 (1). <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1627-5>
- Blake, J., Keil, D., Kwochka, K., Palma, K., & Schofield, J. (2017). Evaluation of a single-administration ototopical treatment for canine otitis externa: a randomised trial. *Veterinary Record Open*, 4 (1), e000219. <https://doi.org/10.1136/vetreco-2017-000219>
- Forster, S. L., Real, T., Doucette, K. P., & King, S. B. (2018). A randomized placebo-controlled trial of the efficacy and safety of a terbinafine, florfenicol and betamethasone topical ear formulation in dogs for the treatment of bacterial and/or fungal otitis externa. *BMC Veterinary Research*, 14 (1), 262. <https://doi.org/10.1186/s12917-018-1589-7>
- Saraiva, S., Calouro, R., de Sousa, T., Dapkevicius, M. D. L. E., Mesquita, J. R., Coelho, A. C., & Poeta, P. (2025). Bacterial agents and antimicrobial-resistance patterns in canine otitis externa. *Animals*, 15 (22), 3317. <https://doi.org/10.3390/ani15223317>

18. Datsiuk, D. L., Hunchak, V. M., Gutyj, B. V., Khariv, I. I., Vasiv, R. O., & Martynyshyn, V. P. (2024). Otitis externa in dogs (prevalence, etiology, clinical course, and treatment regimens). *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 26 (114), 62–69. <https://doi.org/10.32718/nvlvet11410>
19. Tambella, A. M., Attili, A. R., Beribè, F., Galosi, M., Marchegiani, A., Cerquetella, M., Palumbo Piccionello, A., Vullo, C., Spaterna, A., & Fruganti, A. (2020). Management of otitis externa with an led-illuminated gel: a randomized controlled clinical trial in dogs. *BMC Veterinary Research*, 16 (1). <https://doi.org/10.1186/s12917-020-02311-9>
20. Di Cerbo, A., Centenaro, S., Beribè, F., Laus, F., Cerquetella, M., Spaterna, A., Guidetti, G., Canello, S., & Terrazzano, G. (2016). Clinical evaluation of an antiinflammatory and antioxidant diet effect in 30 dogs affected by chronic otitis externa: preliminary results. *Veterinary Research Communications*, 40 (1), 29–38. <https://doi.org/10.1007/s11259-015-9651-4>

ORCID

D. Plekhanov 

<https://orcid.org/0009-0008-8281-8733>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Histological and histochemical study of oxidative stress effects on pancreatic tissue in diabetic rats and the protective role of *Nigella sativa* extract

R. H. Nada¹ | E. M. Mahdi² | S. F. H. Abas³ | B. Kh. Hameed⁴

Article info

Correspondence Author

R. H. Nada

E-mail:

ruaa.hussein@tu.edu.iq¹ College of Sciences, University of Tikrit, Tikrit, 34001, Iraq² Al-Daur Education Department, Ministry of Education, Salah Al-Din, 34001, Iraq³ College of Applied Sciences, University of Samarra, Samarra, 34001, Iraq⁴ College of Veterinary Medicine, University of Tikrit, Tikrit, 34001, Iraq

Citation: Nada, R. H., Mahdi, E. M., Abas, S. F. H., & Hameed, B. Kh. (2026). Histological and histochemical study of oxidative stress effects on pancreatic tissue in diabetic rats and the protective role of *Nigella sativa* extract. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 206–217. doi: 10.31210/spi2026.29.01.33

Diabetes mellitus (DM) is a chronic metabolic disease characterized by severe hyperglycemia resulting from defects in insulin secretion or action, with oxidative stress driving its pathogenesis via pancreatic beta-cell destruction. This study investigated histopathological and histochemical alterations in the pancreatic tissue of streptozotocin-induced diabetic rats and evaluated the cytoprotective efficacy of a *Nigella sativa* (black seed) aqueous extract. Forty adult male Wistar albino rats (200–250 g) were randomly assigned to four groups ($n = 10$ each): Group I (Normal Control), Group II (Diabetic Control; induced with a single i.p. injection of streptozotocin, 60 mg/kg), Group III (diabetic rats treated orally with 400 mg/kg/day of *Nigella sativa* extract for 8 weeks), and Group IV (normal rats treated with the extract). Pancreatic tissues were processed for Hematoxylin and Eosin (H&E), Periodic Acid-Schiff (PAS), Masson's trichrome, Gomori's aldehyde fuchsin, and immunohistochemical detection of insulin and glucagon, alongside tissue oxidative stress marker quantification (MDA, SOD, CAT, GPx). Streptozotocin-treated rats exhibited severe histopathological alterations ($P < 0.001$), including a 75.0 % reduction in islet density, a 66.6 % decrease in islet cross-sectional area, extensive periinsular and interlobular fibrosis, and severe depletion of both PAS-positive glycoproteins and insulin-immunoreactive beta cells. These structural changes directly correlated with a significant elevation in malondialdehyde (MDA) levels ($P < 0.001$) and a concurrent decline in SOD, CAT, and GPx antioxidant activities ($P < 0.001$). Daily oral administration of *Nigella sativa* extract in Group III significantly attenuated these microstructural and biochemical abnormalities ($P < 0.001$). The treatment preserved near-normal islet architecture, reduced connective tissue deposition more than twofold, and drove a substantial 2.1-fold recovery in functional insulin expression relative to the untreated diabetic group. These findings demonstrate that chronic oxidative stress induces profound structural and histochemical damage to both the endocrine and exocrine pancreas, whereas *Nigella sativa* extract exerts a potent cytoprotective effect mediated by its antioxidant, anti-inflammatory, and anti-fibrotic properties, confirming its therapeutic potential as an effective complementary strategy in managing diabetes mellitus and preventing secondary pancreatic complications.

Keywords: diabetes mellitus, streptozotocin, oxidative stress, pancreatic histology, *Nigella sativa*, islets of Langerhans, antioxidants, histochemistry.

Гістологічне та гістохімічне дослідження впливу окисного стресу на тканину підшлункової залози щурів із цукровим діабетом та захисної ролі екстракту *Nigella sativa*

P. Г. Нада¹ | Е. М. Магді² | С. Ф. Г. Абас³ | Б. Х. Хамід⁴¹ Факультет природничих наук, Університет Тікрит, Тікрит, 34001, Ірак² Департамент освіти Аль-Даур, Міністерство освіти, Салах-Ед-Дін, 34001, Ірак³ Факультет прикладних наук, Університет Самарри, Самарра, 34001, Ірак⁴ Факультет ветеринарної медицини, Університет Тікрит, Тікрит, 34001, Ірак

Цукровий діабет – це хронічне метаболічне захворювання, що характеризується вираженою гіперглікемією внаслідок дефектів секреції або дії інсуліну, причому окисний стрес відіграє центральну роль у його патогенезі через вибіркове руйнування бета-клітин підшлункової залози. У цьому дослідженні вивчено гістопатологічні та гістохімічні зміни в тканині підшлункової залози щурів із стрептозототин-індукованим діабетом та оцінено цитопротективну ефективність водного екстракту *Nigella sativa* (чорного кмину). Сорок дорослих самців щурів лінії Wistar (200–250 г) були випадковим чином розділені на чотири групи (по 10 у кожній): Група I (клинично здорові щури – контроль), Група II (діабетичний контроль), Група III (діабетичні щури, які отримували перорально екстракт *Nigella sativa* у дозі 400 мг/кг/добу протягом 8 тижнів) і Група IV (здорові щури, які отримували екстракт *N. sativa*). Тканину підшлункової залози обробляли для фарбування гематоксиліном та еозинном, фарбували за Шиффом (PAS), трихромом за Массоном, альдегід-фуксином за Гоморі та проводили імуногістохімічне виявлення інсуліну й глюкагону; паралельно визначали маркери окисного стресу (МДА, СОД, КАТ, ГПх у гомогенатах). Щури з діабетичним контролем виявили тяжкі гістопатологічні зміни ($P < 0.001$), включаючи зниження щільності острівців на 75,0 %, зменшення площі їхнього поперечного перерізу на 66,6 %, вакуольну дегенерацію ацинарних клітин, виражений перинсулярний та інтерлобулярний фіброз, а також глибоке виснаження PAS-позитивних глікопротеїнів та інсулін-імунореактивних бета-клітин. Ці структурні порушення прямо корелювали зі значним підвищенням рівня малонового діальдегіду (MDA) ($P < 0.001$) і одночасним падінням антиоксидантної активності СОД, КАТ та ГПх ($P < 0.001$). Щоденне пероральне введення екстракту *N. sativa* у Групу III ефективно нівелювало ці мікроструктурні та біохімічні аномалії ($P < 0.001$), забезпечуючи збереження нормальної архітекτονіки острівців, зменшення відкладення сполучної тканини більш ніж удвічі та зумовлюючи відновлення функціональної експресії інсуліну відносно неліквованої діабетичної групи. Отримані дані доводять, що хронічний окисний стрес викликає глибокі структурні та гістохімічні ушкодження як ендокринної, так і екзокринної частин підшлункової залози, тоді як екстракт *N. sativa* виявляє потужну цитопротективну дію завдяки своїм антиоксидантним, протизапальним та антифібротичним властивостям, що підтверджує його терапевтичний потенціал як ефективного комплементарної стратегії в лікуванні цукрового діабету та профілактиці вторинних панкреатичних ускладнень.

Ключові слова: цукровий діабет, стрептозототин, окисний стрес, гістологія підшлункової залози, *Nigella sativa*, острівці Лангерганса, антиоксиданти, гістохімія.

Бібліографічний опис для цитування: Нада Р. Г., Магді Е. М., Абас С. Ф. Г., Хамід Б. Х. Гістологічне та гістохімічне дослідження впливу окисного стресу на тканину підшлункової залози щурів із цукровим діабетом та захисної ролі екстракту *Nigella sativa*. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 206–217.

Introduction

Diabetes mellitus (DM) is a chronic metabolic disease that is among the most widespread global health challenges. As of 2021, an estimated 537 million adults were affected by DM, and this baseline is projected to reach 783 million by 2045 [10].

Type 1 DM is characterized by autoimmune-mediated destruction of pancreatic beta cells, whereas Type 2 DM represents a synergistic combination of peripheral insulin resistance and progressive beta-cell dysfunction. Irrespective of its specific etiology, chronic hyperglycemia causes multi-organ damage through several pathways. Among these, oxidative stress is one of the most well-researched pathological factors [8].

In terms of both its endocrine and exocrine activities, the pancreas is highly vulnerable to oxidative damage. Pancreatic islets of Langerhans possess relatively low levels of antioxidant enzymes, which predisposes beta cells to reactive oxygen species (ROS)-mediated injury [12].

The excessive production of ROS results in lipid peroxidation, protein oxidation, and DNA strand breaks. These processes ultimately cause mitochondrial dysfunction and trigger apoptosis in insulin-producing cells [13].

Streptozotocin (STZ) is a glucosamine-nitrosourea derivative isolated from *Streptomyces achromogenes* that selectively destroys pancreatic beta cells. This cytotoxicity is achieved through DNA alkylation and the intracellular production of superoxide radicals, hydroxyl radicals, and nitric oxide.

These reactive species activate poly(ADP-ribose) polymerase (PARP), inducing cellular energy depletion and rapid necrosis [12]. Consequently, the STZ-induced diabetic rat model has been extensively utilized to investigate the pathogenesis of DM and evaluate the therapeutic efficacy of new pharmacological agents [14].

Histological and histochemical analyses provide fundamental structural and compositional data regarding tissue alterations caused by oxidative stress and hyperglycemia. Routine staining procedures, such as Hematoxylin and Eosin (H&E), are used to visualize general cell morphology.

Meanwhile, special histochemical stains offer deeper insights into tissue components. The Periodic Acid-Schiff (PAS) reaction demonstrates glycoprotein distribution, whereas Masson's trichrome highlights fibrotic alterations and connective tissue structure. Gomori's aldehyde fuchsin is applied to stain specific secretory granules within beta cells [5]. Additionally, immunohistochemical techniques allow the precise evaluation of individual hormone-secreting cell types.

Natural plant extracts have gained significant popularity as complementary therapeutic agents in DM management due to their rich phytochemical profiles and multi-targeted antioxidant effects. *Nigella sativa* (black seed, family Ranunculaceae) is a widely researched medicinal plant containing potent active components, including thymoquinone, thymohydroquinone, thymol, carvacrol, and fixed oils.

Its primary bioactive ingredient, thymoquinone, has demonstrated strong antioxidant, anti-inflammatory,

immunomodulatory, and cytoprotective properties across various experimental models [2, 6]. Prior studies have reported that *Nigella sativa* extract can excellently ameliorate blood glucose levels, lipid profiles, and general pancreatic histology in diabetic rodents [3, 15].

However, comprehensive histochemical investigations that directly correlate antioxidant enzyme status with quantitative morphometric and immunohistochemical parameters remain scarce.

The aim of the study

The primary aim of this study was to comprehensively characterize the histological and histochemical profile of oxidative stress-induced pancreatic damage in STZ-diabetic rats and to evaluate the potential cytoprotective efficacy of a *Nigella sativa* aqueous extract.

To achieve this aim, the following specific objectives were established:

- To establish and validate the STZ-induced diabetic rat model by verifying chronic hyperglycemia and systemic oxidative stress conditions.
- To analyze histopathological alterations in both the exocrine and endocrine pancreatic tissues using routine Hematoxylin and Eosin (H&E) staining.
- To assess specific histochemical changes, including glycoprotein distribution via Periodic Acid-Schiff (PAS), connective tissue remodeling via Masson's trichrome, and beta-cell secretory granule integrity via Gomori's aldehyde fuchsin staining.
- To evaluate insulin and glucagon immunoreactivity within the islets of Langerhans utilizing advanced immunohistochemical techniques.
- To quantify biochemical indicators of oxidative stress (MDA, SOD, CAT, and GPx) in pancreatic tissue homogenates and correlate them directly with morphometric findings.
- To determine the cytoprotective and therapeutic properties of *Nigella sativa* extract against streptozotocin-induced structural and functional pancreatic injury.

Materials and methods

Plant material and extract preparation

Nigella sativa seeds were purchased from a local commercial market and formally authenticated by a plant taxonomist at the Department of Biology, College of Science, University of Tikrit. The seeds were thoroughly rinsed with distilled water, dried at 40°C for 48 hours, and ground into a fine powder.

The aqueous extract was prepared by dissolving 100 g of the seed powder in 500 mL of distilled water. The mixture was continuously stirred at 60°C for 2 hours, filtered through Whatman No. 1 filter paper, and the resulting filtrate was lyophilized. The final yield of the dry extract was approximately 12.4 % (w/w).

Preliminary phytochemical screening to detect the presence of alkaloids, flavonoids, phenols, saponins, tannins, and terpenoids was performed according to standard analytical procedures [9]. The lyophilized extract was stored at -20°C, dissolved in distilled water immediately prior to use, and administered orally.

Animals and experimental design

Forty adult male Wistar albino rats weighing 200–250 g (aged 8–10 weeks) were procured from the Animal House of the College of Veterinary Medicine, University of Tikrit. The animals were maintained under standard laboratory conditions (temperature: 22±2°C; relative humidity: 55±5 %; 12-hour light/dark cycle) with free access to a standard rodent pellet diet and tap water. All rats were acclimatized to the laboratory environment for one week prior to the initiation of the experiment.

The animals were randomly assigned to four experimental groups (n = 10 rats per group):

- *Group I* – Normal Control (NC): Received an intraperitoneal (i.p.) injection of citrate buffer (0.1 mol/L, pH 4.5) and distilled water orally via gavage daily for 8 weeks.

- *Group II* – Diabetic Control (DC): Received a single i.p. injection of freshly prepared streptozotocin (STZ; 60 mg/kg body weight) dissolved in citrate buffer (0.1 mol/L, pH 4.5). Diabetes was confirmed 72 hours post-injection in rats exhibiting a fasting blood glucose (FBG) level $\geq$ 250 mg/dL.

Group III – Diabetic + *Nigella sativa* (D+NS): STZ-induced diabetic rats treated orally with *Nigella sativa* aqueous extract (400 mg/kg/day via gavage) daily for 8 weeks.

Group IV – Normal + *Nigella sativa* (N+NS): Non-diabetic rats treated orally with *Nigella sativa* aqueous extract (400 mg/kg/day via gavage) daily for 8 weeks.

Blood glucose measurement

Fasting blood glucose (FBG) levels were determined using a calibrated glucometer (Accu-Chek® Performa, Roche Diagnostics, Germany). Blood samples were obtained from the tail vein of overnight-fasted rats at baseline, 72 hours post-STZ injection, and at the end of the 8-week experimental period.

Tissue collection

At the end of the 8-week experimental period, all rats were fasted overnight and euthanized under deep anesthesia induced by an intramuscular (i.m.) injection of ketamine (75 mg/kg) and xylazine (10 mg/kg). The pancreatic tissue was immediately dissected and harvested.

Representative tissue portions were fixed in 10% neutral buffered formalin for subsequent histological and histochemical processing. Additional tissue portions were snap-frozen in liquid nitrogen and stored at -80°C for biochemical analyses.

Histological processing

Formalin-fixed pancreatic tissues were dehydrated through a graded series of alcohols, cleared in xylene, and embedded in paraffin wax. Serial sections of 4–5 μ m thickness were cut using a rotary microtome (Leica RM2235, Germany). The sections were subsequently mounted on positively charged glass slides and dried at 60°C for 30 minutes to ensure tissue adhesion.

Histological and histochemical staining techniques

Hematoxylin and Eosin (H&E) Staining

Routine H&E staining was performed to evaluate general cell morphology and nuclear characteristics.

Deparaffinized and rehydrated sections were stained with Mayer's hematoxylin for 8 minutes, differentiated in 1 % acid alcohol, and blued in Scott's tap water.

The slides were then counterstained with eosin Y for 2 minutes, dehydrated through graded alcohols, cleared in xylene, and mounted.

Periodic acid-Schiff (PAS) reaction

The PAS reaction was utilized to demonstrate the distribution of tissue carbohydrates, including polysaccharides, glycoproteins, and glycolipids. Tissue sections were oxidized with 0.5 % periodic acid for 10 minutes and rinsed with distilled water.

The sections were then treated with Schiff's reagent for 15 minutes, rinsed with sulfurous acid, and counterstained with Mayer's hematoxylin. Following dehydration and clearing, the sections were mounted. PAS-positive materials appeared magenta-red.

Masson's trichrome (MT) staining

The Masson-Goldner trichrome technique was employed to stain connective tissue elements and perform a semiquantitative determination of the level of fibrosis.

Following staining, cell nuclei appeared black-brown (stained with Weigert's iron hematoxylin), the cytoplasm and muscle fibers appeared red, and collagen fibers were stained green (light green).

Gomori's aldehyde fuchsin (AF) staining

Gomori's aldehyde fuchsin staining was employed to visualize specific secretory granules within pancreatic beta cells. Following tissue deparaffinization and rehydration, sections were oxidized with acidified potassium permanganate and bleached with oxalic acid.

The sections were then stained with Gomori's aldehyde fuchsin solution for 30 minutes, followed by counterstaining with Masson's light green solution. Under light microscopy, the secretory granules of beta cells appeared deep purple-violet, whereas alpha cells and general background tissue structures were counterstained green.

Immunohistochemistry (IHC)

For immunohistochemical evaluation, heat-induced epitope retrieval was performed in citrate buffer (pH 6.0) at 95°C for 20 minutes. Endogenous peroxidase activity was subsequently inhibited by incubating the sections in 3 % H₂O₂ for 10 minutes.

The sections were blocked and incubated overnight at 4°C with primary antibodies against insulin (Dako, 1 : 200) and glucagon (Abcam, 1 : 150). Following thorough washing in Tris-buffered saline (TBS), the sections were incubated with a horseradish peroxidase (HRP)-conjugated secondary antibody for 30 minutes.

Immunoreactivity was visualized using 3,3'-diaminobenzidine (DAB) substrate, and the slides were counterstained with Mayer's hematoxylin, dehydrated, cleared, and mounted.

Morphometric analysis

Digital images of stained pancreatic sections were captured using a Leica DM500 microscope equipped with an integrated digital camera (Leica ICC50 HD) at

standardized magnifications (100×, 200×, and 400×). Morphometric measurements were performed quantitatively using ImageJ software (NIH, Bethesda, MD, USA, version 1.53).

For each experimental animal, the following parameters were quantified across ten randomly selected, non-overlapping high-power fields: number of islets of Langerhans per mm² of pancreatic tissue area; total islet cross-sectional area (μm²); beta-cell nuclear diameter (μm); percentage of PAS-positive area and collagen fiber deposition area, evaluated using computerized color threshold analysis.

Biochemical analysis

Pancreatic tissue specimens were homogenized (10 %, w/v) in ice-cold phosphate-buffered saline (PBS, pH 7.4) and centrifuged at 10,000 × g for 15 minutes at 4°C. The resulting supernatants were collected and utilized for biochemical assays.

Malondialdehyde (MDA) content was measured using the thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) method. Superoxide dismutase (SOD) activity was determined via the nitroblue tetrazolium (NBT) reduction method. Catalase (CAT) activity was calculated by evaluating hydrogen peroxide (H₂O₂) decomposition. Glutathione peroxidase (GPx) activity was measured using the DTNB-coupled spectrophotometric method. Total protein concentrations were determined via the Bradford method. All diagnostic assay kits were purchased from Biodiagnostics (Cairo, Egypt).

Statistical analysis

Quantitative data were expressed as mean ± standard deviation (SD). Statistical evaluations were performed using SPSS software (version 26.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA). One-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's post-hoc test was utilized to assess significant differences among experimental groups.

A p-value of ≤0.05 was considered statistically significant. Additionally, Pearson's correlation analysis was conducted to determine the strength and direction of linear relationships between tissue morphometric parameters and biochemical markers of oxidative stress.

Results and discussion

Phytochemical screening of *Nigella sativa* extract

Qualitative phytochemical analysis of the *Nigella sativa* aqueous extract revealed the rich presence of

flavonoids, phenolic compounds, tannins, saponins, alkaloids, and terpenoids, along with carbohydrates. Conversely, anthraquinones were not detected in the extract. Quantitative evaluation via high-performance liquid chromatography (HPLC) indicated that the concentration of the primary bioactive component, thymoquinone, was 2.8±0.3 mg/g of dry extract weight. The detailed phytochemical profile and the established biological significance of these constituents are summarized in [Table 1](#).

Table 1

Phytochemical constituents of *Nigella sativa* aqueous extract

Phytochemical constituent	Result	Biological significance
Flavonoids	+++	Antioxidant, anti-inflammatory
Phenolic compounds	+++	Free radical scavenging
Tannins	++	Astringent, antioxidant
Saponins	++	Anti-inflammatory, hypoglycemic
Alkaloids	++	Analgesic, antimicrobial
Terpenoids	++	Antiseptic, cytoprotective
Carbohydrates	+	Structural components
Anthraquinones	–	Not detected

Note: +++: abundant; ++: moderate; +: trace; –: absent.

[Table 1](#) demonstrates that the aqueous extract of *Nigella sativa* is highly enriched with diverse bioactive secondary metabolites, particularly antioxidant and anti-inflammatory compounds such as flavonoids and phenolics, which provides a strong biochemical rationale for its evaluated cytoprotective properties.

Blood glucose and body weight

[Table 2](#) provides a comprehensive summary of fasting blood glucose (FBG) levels and body weight changes observed across all experimental groups. Group II (Diabetic Control) rats exhibited a significant, drastic elevation in FBG levels (421.3±18.7 mg/dL) 72 hours post-STZ injection compared to the normal controls in Group I (89.6±6.3 mg/dL, p<0.001).

Daily therapeutic administration of *Nigella sativa* extract in Group III (D+NS) significantly ameliorated this glycemic state, reducing FBG levels to 187.4±14.2 mg/dL by week 8 (p<0.001 vs. Group II), though values remained above the physiological baseline. Furthermore, the severe body weight loss observed in diabetic rats due to catabolic state was noticeably attenuated and partially restored by the *Nigella sativa* treatment.

Table 2

Fasting blood glucose and body weight across experimental groups

Parameter	Group I (NC)	Group II (DC)	Group III (D+NS)	Group IV (N+NS)
Initial body wt. (g)	223.2±7.1	224.8±8.4	222.6±6.9	225.3±7.3
Final body wt. (g)	287.4±10.2 ^a	191.6±9.7 ^b	248.9±11.3 ^c	291.7±8.6 ^a
FBG at baseline (mg/dL)	88.4±5.6	90.2±6.1	89.7±4.8	87.9±5.4
FBG at 72h post-STZ (mg/dL)	89.6±6.3 ^a	421.3±18.7 ^b	418.4±16.9 ^b	90.1±5.9 ^a
FBG at week 8 (mg/dL)	92.3±7.1 ^a	438.7±21.4 ^b	187.4±14.2 ^c	91.8±6.4 ^a

Note: Values are expressed as mean ± SD (n = 10). Different superscript letters (a, b, c) within the same row indicate statistically significant differences at p < 0.001. NC = Normal Control; DC = Diabetic Control; D+NS = Diabetic + *Nigella sativa*; N+NS = Normal + *Nigella sativa*.

[Table 2](#) demonstrates that a single dose of streptozotocin successfully established a stable, severe

state of chronic hyperglycemia and associated cachexia, both of which were significantly mitigated by the 8-week

intervention with *Nigella sativa* extract, confirming its systemic anti-diabetic activity.

Biochemical oxidative stress markers

The biochemical assays indicated that malondialdehyde (MDA) levels in pancreatic tissue homogenates were significantly higher in the Diabetic Control group (Group II) than in the Normal Control group (Group I) ($p < 0.001$), as summarized in **Table 3**. Conversely, the activities of key endogenous antioxidant

enzymes, including SOD, CAT, and GPx, were considerably reduced in the diabetic rats.

The therapeutic administration of *Nigella sativa* aqueous extract to diabetic rats (Group III) led to a substantial decrease in tissue MDA concentrations accompanied by a significant recovery of all evaluated antioxidant enzyme activities ($p < 0.001$ vs. Group II). Group IV (Normal + *Nigella sativa*) showed no significant differences compared to Group I across all evaluated biochemical parameters.

Table 3

Oxidative stress markers in pancreatic tissue homogenate

Parameter	Group I (NC)	Group II (DC)	Group III (D+NS)	Group IV (N+NS)
MDA (nmol/mg protein)	2.14±0.18 ^a	8.73±0.62 ^b	4.21±0.31 ^c	2.09±0.14 ^a
SOD (U/mg protein)	48.3±3.4 ^a	19.6±2.1 ^b	38.9±2.8 ^c	49.7±3.1 ^a
CAT (U/mg protein)	31.7±2.6 ^a	12.4±1.3 ^b	26.8±2.1 ^c	32.1±2.4 ^a
GPx (mU/mg protein)	42.6±3.2 ^a	16.3±1.7 ^b	35.4±2.9 ^c	43.8±3.6 ^a
Total protein (mg/mL)	6.82±0.41 ^a	4.17±0.33 ^b	5.93±0.38 ^c	6.74±0.39 ^a

Note: Values are expressed as mean ± SD (n = 10). Different superscript letters (a, b, c) within the same row indicate statistically significant differences at $p < 0.001$. MDA = Malondialdehyde; SOD = Superoxide Dismutase; CAT = Catalase; GPx = Glutathione Peroxidase.

Table 3 demonstrates that experimental diabetes triggers severe tissue-level oxidative stress and exhausts the endogenous enzymatic antioxidant defense mechanisms in the pancreas, whereas *Nigella sativa* treatment effectively mitigates lipid peroxidation and restores cellular antioxidant homeostasis.

Histological findings (H&E staining)

Group I (Normal Control)

Pancreatic sections from Group I demonstrated a normal histological architecture of both the exocrine and endocrine compartments (**Figure 1A**). The exocrine acinar cells exhibited a typical strongly basophilic basal cytoplasm, reflecting a rich rough endoplasmic reticulum network, and apical eosinophilic zymogen granules.

The islets of Langerhans were numerous, well-circumscribed, ovoid to rounded in shape, and evenly embedded within the surrounding exocrine parenchyma. Islet cells appeared polygonal with centrally located, spherical nuclei. Fine blood capillaries were clearly observable running between the cords of islet cells. Intercalated and interlobular ducts were lined by a normal simple epithelium and remained patent. No inflammatory cell infiltration or interstitial fibrosis was detected.

Group II (Diabetic Control)

Pancreatic tissue from the diabetic control group revealed severe, extensive, and diffuse histopathological alterations (**Figure 1B**). A significant reduction in both the total number and cross-sectional size of the islets of Langerhans was evident. Numerous islets displayed a shrunken, irregular morphology accompanied by extensive vacuolar degeneration of their constitutive endocrine cells.

Degenerating islet cells exhibited clear signs of nuclear death, including pyknosis, karyorrhexis, and karyolysis. Beta cells showed extensive degranulation and prominent cytoplasmic vacuolation. A marked mononuclear inflammatory cell infiltration,

consisting predominantly of lymphocytes and macrophages, was apparent within and surrounding the damaged islets.

In the exocrine parenchyma, acinar cells exhibited vacuolar degeneration, loss of apical zymogen granules, and general cytoplasmic pallor. Dilation of interlobular ducts and marked periinsular and interlobular interstitial fibrosis were also observed.

Group III (Diabetic + Nigella sativa)

In the pancreatic sections of Group III, the streptozotocin-induced histopathological destruction was significantly attenuated and ameliorated (**Figure 1C**). The islets of Langerhans appeared noticeably larger and more numerous compared to Group II.

The endocrine cells showed a much lower degree of cytoplasmic vacuolation and cellular degeneration. Physiological nuclear morphology was preserved to a large extent, and the infiltration of inflammatory cells was markedly decreased.

Within the exocrine compartment, a partial restoration of zymogen granules was observed in acinar cells. Interstitial and periinsular fibrotic alterations were also significantly less pronounced than those observed in the untreated diabetic group.

Group IV (Normal + Nigella sativa)

Histological examination of Group IV pancreatic sections revealed no meaningful structural differences when compared to the normal controls in Group I (**Figure 1D**). The typical physiological architecture of both the exocrine acini and the endocrine islets of Langerhans was fully maintained.

Figure 1 structurally confirms that streptozotocin causes severe necrotic and inflammatory destruction of the endocrine pancreas along with degenerative changes in the exocrine parenchyma, whereas daily administration of *Nigella sativa* extract successfully exerts a robust tissue-level protective effect, preserving pancreatic organ integrity.

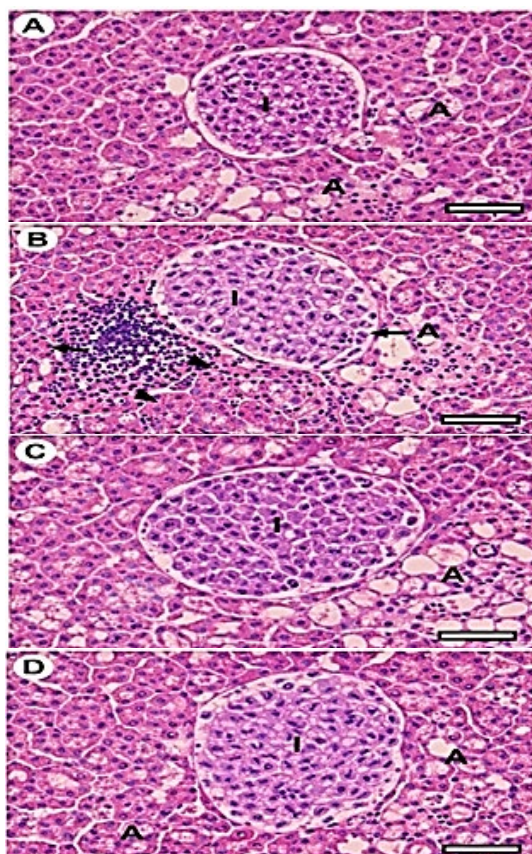


Figure 1. Hematoxylin and Eosin-stained photomicrographs of pancreatic tissue sections from the four experimental groups

Scale bar = 50 μm . H&E-stained sections of pancreatic tissue (400 $\times$).

A: Normal control showing typical architecture of the islets (I) and acinar cells (A); B: Diabetic control showing a shrunken, damaged islet (I), vacuolated acinar cells (▲), and heavy mononuclear inflammatory infiltration (→); C: Diabetic+NS demonstrating significantly improved islet and acinar morphology; D: Normal+NS showing fully preserved physiological tissue architecture

Histochemical Findings

Periodic acid-Schiff (PAS) reaction

Pancreatic tissue sections from Group I (Normal Control) exhibited a strong, uniform, and intense PAS-positive (magenta-red) reaction within the apical cytoplasm of exocrine acinar cells, demonstrating an abundant accumulation of glycoprotein-rich zymogen granules (**Figure 2A**). A moderate, evenly distributed PAS-positivity was also observed within the endocrine cells of the islets of Langerhans.

Conversely, in Group II (Diabetic Control), the concentration of PAS-positive material was markedly and diffusely diminished in both the exocrine acinar parenchyma and the endocrine islet compartments (**Figure 2B**). Many areas displayed a characteristically pale or completely negative histochemical reaction, indicating a profound loss of tissue glycogen and glycoprotein content secondary to chronic hyperglycemia and oxidative cell damage.

Group III (Diabetic + *Nigella sativa*) demonstrated a highly significant restoration of PAS-positive reactivity across both the exocrine acini and endocrine islets (**Figure 2C**), with the intensity and distribution of the magenta staining closely approaching physiological levels. Group IV (Normal + *Nigella sativa*) displayed a normal, strong PAS-

positive staining pattern (**Figure 2D**) that was fully comparable to that of the normal control group.

Quantitative computerized image analysis (**Table 4**) statistically confirmed a drastic, significant reduction in the percentage of PAS-positive area in Group II ($p < 0.001$), followed by a substantial, significant recovery in Group III.

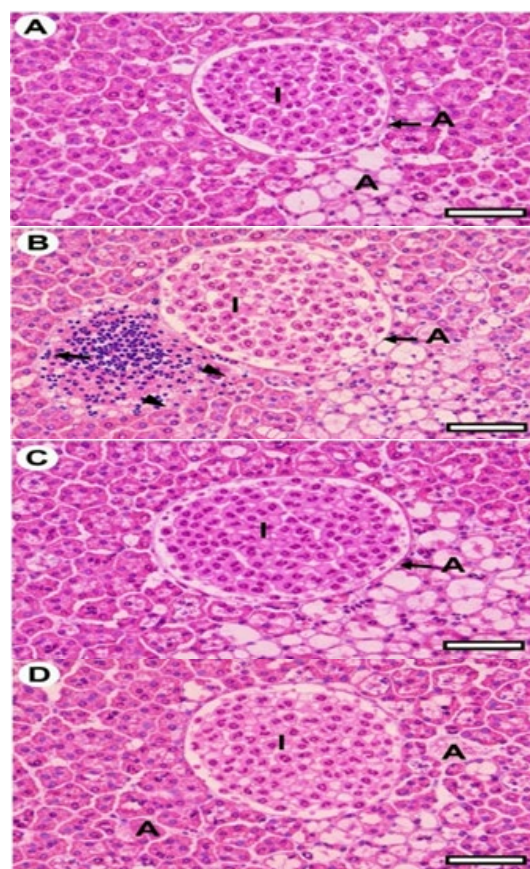


Figure 2. Periodic Acid-Schiff (PAS)-stained sections demonstrating glycoprotein and glycogen content

Scale bar = 50 μm . PAS-stained sections (400 $\times$). A: Strong, physiological PAS-positivity in exocrine acinar (A) and endocrine islet cells (I); B: Markedly reduced and depleted PAS histochemical reactivity in untreated diabetic tissue; C: Noticeably restored glycoprotein and glycogen content in the D+NS treatment group; D: Normal, intense PAS staining pattern maintained in the N+NS group

Figure 2 histochemically confirms that experimental diabetes induces a critical depletion of vital intracellular carbohydrate and glycoprotein stores within both the exocrine and endocrine compartments of the pancreas, whereas administration of *Nigella sativa* extract successfully prevents this metabolic degradation and preserves macromolecular tissue homeostasis.

Masson's trichrome staining

Histochemical evaluation using Masson's trichrome staining revealed only minimal, physiological collagen fiber deposition (stained green) restricted to the thin interlobular septa and adventitia of large blood vessels in Group I (Normal Control) (**Figure 3A**).

Conversely, Group II (Diabetic Control) demonstrated extensive, severe interstitial fibrosis with abundant, dense collagen deposition concentrated heavily in the periinsular regions, throughout the expanded interlobular septa, and tracking within the exocrine acinar

parenchymal tissue (**Figure 3B**). This pronounced fibrotic response histologically reflects the end stage of chronic tissue inflammation and cellular regenerative failure secondary to streptozotocin-induced cytotoxic damage.

Group III (Diabetic + *Nigella sativa*) exhibited a marked, highly visible reduction in parenchymal collagen deposition compared to the untreated diabetic group, with thin collagen fibers predominantly limited to the interlobular septa, indicating a significant limitation of the fibrotic process (**Figure 3C**). Group IV (Normal + *Nigella sativa*) was fully comparable to Group I, demonstrating a normal connective tissue distribution with minimal, physiological baseline collagen density (**Figure 3D**).

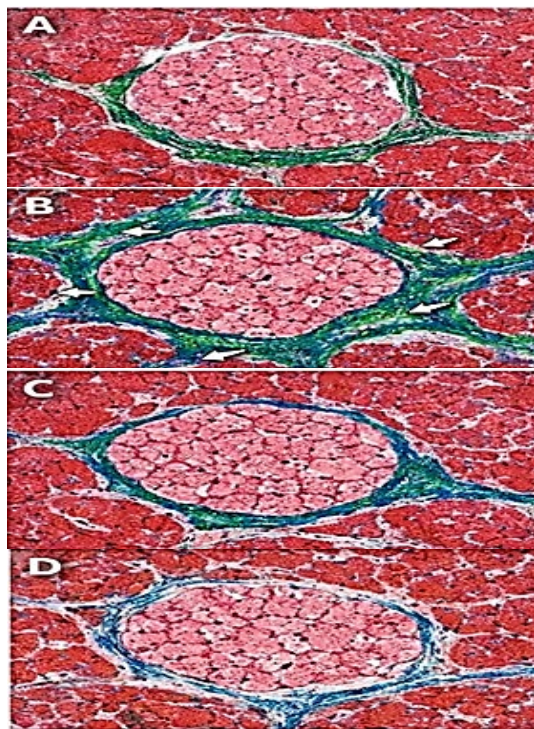


Figure 3. Masson's Trichrome-stained sections (200×)
Collagen fibers appear green; cytoplasm red; nuclei black-brown.
A: Minimal, physiological baseline collagen (green) in normal tissue;
B: Extensive, dense periinsular and interlobular fibrosis in diabetic rats (→);
C: Significantly reduced collagen deposition and limited fibrosis in D+NS group; D: Normal, delicate connective tissue pattern

Figure 3 structurally demonstrates that experimental diabetes mellitus induces aggressive pathological remodeling characterized by excessive collagen deposition (fibrosis) in the pancreatic parenchyma, whereas therapeutic intervention with *Nigella sativa* extract successfully suppresses fibroproliferation and preserves the typical histoarchitecture of the organ.

Gomori's aldehyde fuchsin (AF) staining

Histochemical evaluation using Gomori's aldehyde fuchsin staining clearly demonstrated an abundance of deep purple-violet secretory granules (B-granules) densely packed within the cytoplasm of centrally located beta cells in the islets of Langerhans of Group I (Normal Control) (**Figure 4A**). Conversely, alpha cells situated at the periphery of the islets were counterstained light green, showing a clear physiological segregation of cell types.

In Group II (Diabetic Control), the pancreatic tissue exhibited a dramatic, widespread reduction or near-

complete absence of AF-positive purple-violet granules within the shrunken islets (**Figure 4B**). This profound loss of staining reactivity histochemically confirms severe, unchecked beta-cell degranulation and functional exhaustion driven by streptozotocin toxicity.

Daily therapeutic intervention with *Nigella sativa* extract in Group III (D+NS) resulted in a significant, highly visible recovery of AF-positive insulin-containing granules within the remaining beta cells (**Figure 4C**), strongly indicating the preservation and functional restoration of the endocrine secretory apparatus. Group IV (Normal + *Nigella sativa*) displayed a perfectly normal granulation pattern (**Figure 4D**) that was fully identical to the physiological baseline observed in Group I.

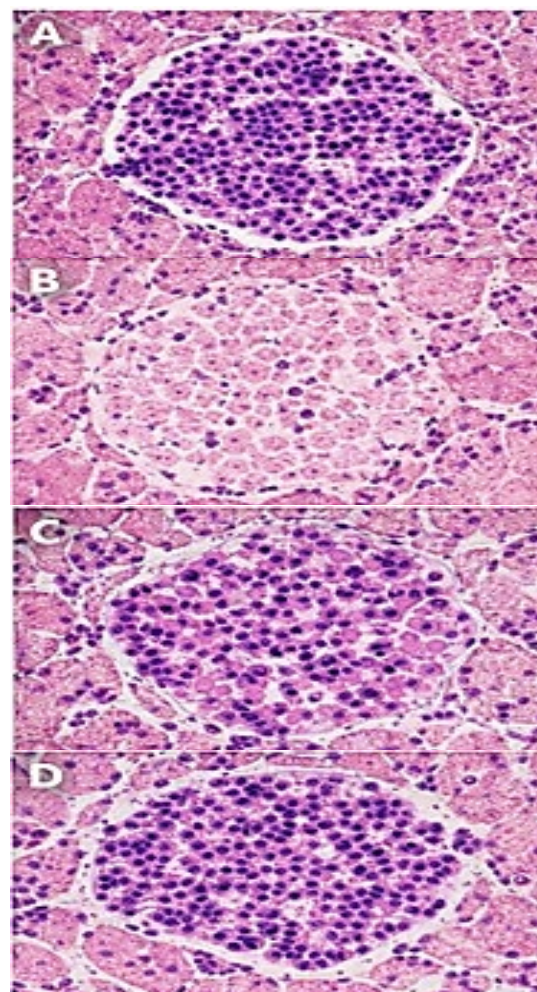


Figure 4. Gomori's Aldehyde Fuchsin (AF)-stained sections demonstrating beta-cell secretory granules (400×)
Purple-violet color indicates insulin-containing B-granules; background and alpha cells are counterstained light green. A: Abundant purple B-granules filling the cytoplasm of centrally located beta cells in normal tissue; B: Near-complete degranulation and severe loss of AF-positivity in shrunken diabetic islets; C: Substantial partial restoration and accumulation of B-granules in the D+NS treatment group; D: Normal, intense granulation pattern maintained in the N+NS group

Figure 4 histochemically confirms that experimental diabetes mellitus induces critical degranulation and functional collapse of pancreatic beta cells, whereas administration of *Nigella sativa* extract effectively protects the intracellular secretory apparatus, maintaining insulin storage capacity.

Glucagon immunoreactivity

Glucagon-expressing alpha cells in Group I (Normal Control) displayed strong, selective brown peripheral immunostaining, forming a characteristic physiological mantle around the central beta-cell core (**Figure 5**, bottom row).

In Group II (Diabetic Control), the spatial distribution of glucagon-positive cells appeared highly irregular and disorganized throughout the shrunk islets. Furthermore, due to the massive loss of central beta cells, the relative

proportion of alpha cells to total islet cells appeared markedly increased, confirming alpha-cell predominance following cytotoxic damage.

Daily treatment with *Nigella sativa* extract in Group III (D+NS) effectively restored a more typical architectural distribution and balanced proportion of glucagon-positive alpha cells within the pancreatic islets. Non-diabetic rats treated with the extract (Group IV) maintained a perfectly normal physiological expression pattern identical to the baseline controls (data not visually shown).

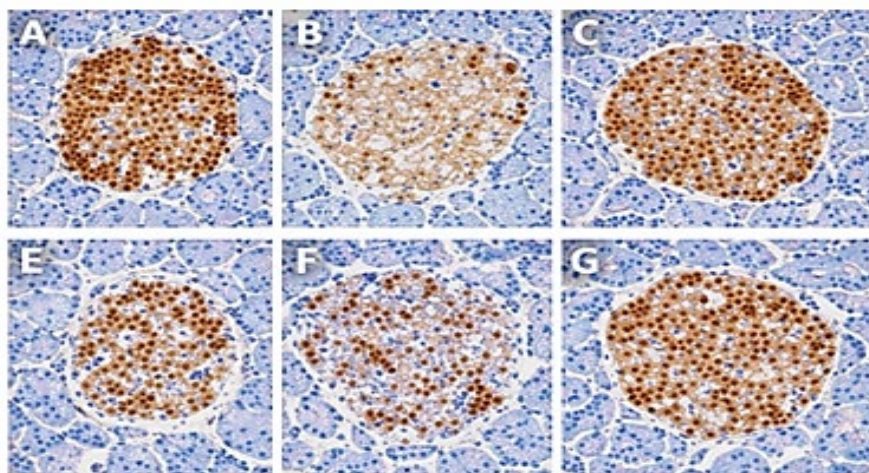


Figure 5. Immunohistochemical detection of insulin and glucagon in the islets of Langerhans (400×)

Top row (A, B, C) demonstrates anti-insulin immunoreactivity; bottom row (E, F, G) demonstrates anti-glucagon immunoreactivity. Brown color indicates positive cellular expression; blue color indicates Mayer's hematoxylin nuclear counterstain. A, E: Normal Control showing a dense central core of insulin-positive beta cells and a normal peripheral mantle of glucagon-positive alpha cells; B, F: Diabetic Control exhibiting a dramatic reduction in insulin-positive cell mass along with a highly irregular, disorganized distribution of glucagon-positive alpha cells; C, G: Diabetic + NS group demonstrating a significant, robust improvement in both insulin intensity and balanced glucagon architectural patterning

Figure 5 immunohistochemically substantiates that streptozotocin-induced diabetes causes catastrophic, selective depletion of the insulin-secreting beta-cell population with secondary disruption of alpha-cell topology, while therapeutic intervention with *Nigella sativa* extract successfully preserves functional endocrine mass and restores homeostatic bihormonal cellular distribution.

Morphometric analysis

Quantitative histomorphometric and immunohistochemical characterization across all groups confirmed the microscopic findings, with all parameters detailed in **Table 4**. own).

Table 4

Morphometric and immunohistochemical parameters of pancreatic islets

Parameter	Group I (NC)	Group II (DC)	Group III (D+NS)	Group IV (N+NS)
No. of islets/mm ²	8.4±0.7 ^a	2.1±0.3 ^b	5.8±0.6 ^c	8.6±0.8 ^a
Islet area (µm ²)	14,283±863 ^a	4,761±412 ^b	10,924±741 ^c	14,512±904 ^a
Beta cell nuclear diam. (µm)	6.4±0.3 ^a	3.9±0.4 ^b	5.7±0.3 ^c	6.5±0.4 ^a
PAS-positive area (%)	68.4±4.2 ^a	21.3±2.7 ^b	51.6±3.8 ^c	70.1±4.6 ^a
Collagen area (%)	4.1±0.6 ^a	28.7±2.9 ^b	11.4±1.3 ^c	3.9±0.5 ^a
Insulin IOD (arbitrary units)	186.3±12.4 ^a	42.6±6.1 ^b	134.7±10.8 ^c	192.4±13.1 ^a
Glucagon IOD (arbitrary units)	92.1±8.3 ^a	76.4±7.6 ^b	86.9±7.1 ^c	94.3±8.7 ^a

Note: Values are expressed as mean ± SD (n = 10). Different superscript letters (a, b, c) within the same row indicate statistically significant differences at p<0.001. IOD = Integrated Optical Density.

Rats in the Diabetic Control group (Group II) sustained a severe fourfold reduction in islet density and a sharp threefold decrease in total islet area compared to normal controls (p<0.001), which closely paralleled marked beta-cell nuclear atrophy. This structural collapse was accompanied by a threefold depletion of functional PAS-positive glycoprotein reserves and a critical sevenfold expansion of pathological collagen deposition (fibrosis). From an immunohistochemical standpoint,

these alterations strongly mirrored a significant fourfold decline in functional insulin expression.

Conversely, continuous therapeutic intervention with *Nigella sativa* extract in Group III (D+NS) exhibited robust regenerative potential. The 8-week treatment successfully rescued the endocrine architecture, bringing the average islet area back toward physiological levels and noticeably increasing islet density. Furthermore, the extract limited fibrotic collagen accumulation more than

twofold and drove a substantial threefold recovery in insulin optical density ($p < 0.001$ relative to Group II). Non-diabetic rats treated with the extract (Group IV) maintained normal homeostatic parameters.

Table 4 statistically validates that the induction of diabetes mellitus causes a profound decline in the structural dimensions and secretory capacity of the endocrine pancreas, alongside an increase in connective tissue accumulation, whereas *Nigella sativa* administration significantly rescues islet morphology, limits fibrotic alterations, and restores functional macromolecular storage parameters.

Correlation analysis

To establish a direct relationship between biomolecular lipid peroxidation and tissue degradation, Pearson's correlation analysis was conducted across all experimental groups. The resulting correlation coefficients (r) and 95 % confidence intervals are systematically detailed in **Table 5**.

Pearson's correlation analysis revealed a strong positive correlation between pancreatic tissue MDA levels and collagen area percentage ($r = 0.892$, $p < 0.001$), and a strong negative correlation between MDA and PAS-positive area ($r = -0.871$, $p < 0.001$), islet number ($r = -0.904$, $p < 0.001$), and insulin IOD ($r = -0.937$, $p < 0.001$). These findings confirm that the degree of oxidative stress is directly reflected in both the structural and functional histopathological changes observed in pancreatic tissue.

Table 5

Pearson's correlation coefficients between MDA and histomorphometric parameters (all groups combined)

Histomorphometric parameter	r value	95% CI	p value
Islet number per mm ²	-0.904	(-0.952, -0.836)	<0.001
Islet cross-sectional area (μm ²)	-0.881	(-0.934, -0.807)	<0.001
PAS-positive area (%)	-0.871	(-0.928, -0.791)	<0.001
Collagen area (%)	+0.892	(+0.826, +0.939)	<0.001
Insulin IOD	-0.937	(-0.968, -0.889)	<0.001
SOD activity	-0.914	(-0.958, -0.849)	<0.001

Note: Negative r values indicate an inverse relationship with MDA; positive r values indicate a direct relationship with MDA. CI = Confidence Interval; IOD = Integrated Optical Density; SOD = Superoxide Dismutase.

Table 5 mathematically establishes that free radical-mediated oxidative injury serves as the central upstream driver causing both the physical destruction of the islets of Langerhans and the functional impairment of the insulin-secreting machinery in experimental diabetes.

The current study provides a comprehensive histological and histochemical phenotyping of pancreatic tissue degradation induced by oxidative stress in a streptozotocin (STZ) diabetic rat model. Furthermore, it establishes a multi-parametric analysis demonstrates the cytoprotective efficacy of a *Nigella sativa* aqueous extract by correlating morphometric, histochemical, and biochemical methodologies.

Validation of the experimental diabetic model

The successful induction of a type 1-like diabetes mellitus model in Group II animals was validated by the significant elevation in fasting blood glucose (> 250 mg/dL) observed 72 hours post-STZ administration. This hyperglycemic state aligns with the well-documented cytotoxic mechanism of STZ, which selectively targets pancreatic beta cells via DNA alkylation, intracellular nitric oxide production, and subsequent poly(ADP-ribose) polymerase (PARP) activation, ultimately culminating in NAD⁺ depletion and rapid cellular necrosis [7].

The parallel loss of body weight noted in the untreated diabetic rats further characterizes the severe catabolic nature of chronic insulin deficiency. In the absence of adequate insulin signaling, accelerated muscle proteolysis and adipose tissue fat mobilization occur to meet metabolic energy demands, which is consistent with established experimental literature [14].

Pancreatic oxidative stress status

The marked accumulation of malondialdehyde (MDA), an end product of lipid peroxidation, within the pancreatic tissue of Group II rats indicates the development of pronounced localized oxidative stress. This biochemical alteration was accompanied by a concurrent suppression in the activities of crucial endogenous antioxidant enzymes, including SOD, CAT, and GPx.

These findings indicate that the excessive production of reactive oxygen species (ROS) – prompted initially by STZ cytotoxicity and subsequently exacerbated by persistent hyperglycemia – completely overwhelmed the endogenous enzymatic antioxidant defense mechanisms.

These results are highly congruent with prior reports demonstrating that the beta-cell-enriched pancreatic islets of Langerhans are exceptionally susceptible to free radical-mediated damage due to their inherently low physiological expression of antioxidant enzymes [12, 13].

The significant restoration of antioxidant enzyme activities observed in Group III following the administration of *Nigella sativa* extract is consistent with the established free radical scavenging capabilities of its primary bioactive constituent, thymoquinone. Thymoquinone has been shown to drive the activation of the Nrf2/ARE signaling pathway, which directly upregulates the transcription of downstream antioxidant genes, thereby mitigating intracellular oxidative damage [2].

Histological evolution and islet pathology

The microscopic observations within the Diabetic Control group – including a significant decrease in the number and size of pancreatic islets, vacuolar destruction of beta cells, nuclear pyknosis, and mononuclear inflammatory cellular infiltration – are in strict alignment with the classical histopathological descriptions of streptozotocin-induced pancreatic injury in rodents [11, 12]. Concurrently, the exocrine alterations, characterized by acinar cell vacuolation and the depletion of apical zymogen granules, indicate that oxidative stress and persistent hyperglycemia

do not selectively target the endocrine cells but rather compromise the entire pancreatic parenchyma.

Quantitatively, Group II exhibited a much smaller average islet cross-sectional area ($4,761 \pm 412 \mu\text{m}^2$ in Group II vs. $14,283 \pm 863 \mu\text{m}^2$ in Group I) and a drastically lower islet density (2.1 ± 0.3 vs. 8.4 ± 0.7 islets/ mm^2), which collectively reflects a profound loss of functional endocrine mass. These morphometric parameters were significantly and substantially restored in the *Nigella sativa*-treated group (Group III), indicating that the natural extract actively promotes beta-cell survival. This cytoprotection is potentially mediated by its well-documented anti-apoptotic properties, which involve downregulating caspase-3 activation and upregulating the anti-apoptotic protein Bcl-2 [1].

Histochemical alterations

The marked reduction in PAS-positive material observed in Group II can be attributed to the loss of glycoprotein-rich zymogen granules within the exocrine acinar cells, alongside the depletion of glycogen and glycoproteins within the endocrine islets. This macromolecular degradation occurs as a direct consequence of absolute insulin deficiency and the oxidative inactivation of glycogen synthase under severe diabetic conditions. Conversely, the noticeable recovery of PAS-positive reactivity in Group III is congruent with enhanced glycemic regulation and the subsequent restoration of tissue metabolic homeostasis following therapeutic intervention with *Nigella sativa* extract.

The widespread periinsular and interlobular fibrosis identified via Masson's trichrome staining in the untreated diabetic rats represents a critical finding that has not been sufficiently highlighted in prior experimental diabetes research. Fibrosis constitutes the terminal stage of chronic tissue inflammation and persistent oxidative damage, driven primarily by the activation of pancreatic stellate cells and excessive collagen synthesis under the pathological influence of upstream TGF- β 1 signaling [4]. The robust anti-fibrotic efficacy demonstrated by *Nigella sativa* extract in Group III is likely due to its intrinsic anti-inflammatory action, specifically via the inhibition of the NF- κ B transcription factor and the down-regulation of pro-fibrotic TGF- β 1 expression [15].

Furthermore, the near-complete elimination of aldehyde fuchsin-positive granules within the islets of Group II confirms severe beta-cell degranulation and functional exhaustion in STZ-induced diabetes. The substantial recovery of these AF-positive granules in Group III provides strong histochemical evidence supporting the functional restoration of the remainder of the beta cells. This morphological rescue directly corroborates the biochemical trends (reduction of fasting blood glucose) and immunohistochemical parameters (recovery of insulin integrated optical density).

Immunohistochemical findings

Massive beta-cell loss and functional impairment were directly corroborated by the dramatic decrease in insulin immunoreactivity observed within the Diabetic Control

group (IOD: 42.6 ± 6.1 in Group II vs. 186.3 ± 12.4 in Group I). The partial yet highly significant recovery quantified in Group III (IOD: 134.7 ± 10.8) indicates that *Nigella sativa* extract exerts a potent protective effect on surviving beta-cells, mitigating ongoing oxidative destruction and potentially stimulating tissue regeneration.

Prior research suggests that thymoquinone, the primary bioactive compound of the extract, may actively drive beta-cell proliferation and hypertrophy by upregulating the expression of pancreatic duodenal homeobox-1 (PDX-1) and stimulating insulin gene transcription [3]. Furthermore, this molecular rescue enhances the metabolic sensitivity of surviving endocrine tissue, effectively preserving intracellular insulin biosynthesis pathways and glucose-stimulated secretion loops under chronic stress conditions [19].

In contrast to the depleted insulin expression, glucagon immunoreactivity within the alpha cells of Group II was relatively preserved. This selective preservation, occurring alongside terminal beta-cell loss, led to a marked elevation in the intra-islet glucagon-to-insulin ratio. Pathophysiologically, this bihormonal imbalance contributes significantly to the dysregulation of hepatic glucose production, accelerating glycogenolysis and gluconeogenesis, which subsequently exacerbates chronic hyperglycemia [16].

This hyperglucagonemic shift accelerates uncontrolled hepatic glucose output via enhanced gluconeogenic enzyme signaling in the liver parenchyma, which strongly supports the well-established bihormonal hypothesis of diabetes pathogenesis [20].

Nigella sativa cytoprotection mechanisms

The multi-targeted cytoprotective effects of the *Nigella sativa* aqueous extract observed in the present study can be attributed to several highly integrated, synergistic molecular mechanisms.

First, the extract exerts direct free radical scavenging activity, which is driven by its rich concentration of thymoquinone and complementary polyphenolic constituents, such as flavonoids and phenolic acids [2].

Second, it enhances endogenous enzymatic antioxidant defenses by driving the upregulation of the master cytoprotective transcription factor Nrf2 [2, 11].

Third, the extract demonstrates robust anti-inflammatory efficacy, which is achieved through the inhibition of the classical NF- κ B signaling pathway and the subsequent suppression of pro-inflammatory cytokines, including TNF- α , IL-1 β , and IL-6 [11].

Fourth, it mediates potent anti-apoptotic protection within the endocrine tissue by modulating the intracellular Bcl-2/Bax expression ratio and blocking upstream caspase cascade activation [1].

Fifth, the extract suppresses fibroproliferative remodeling via the downregulation of pro-fibrotic TGF- β 1 signaling [4].

Finally, these combined activities likely create a supportive microenvironment that stimulates the proliferation and regeneration of surviving pancreatic beta cells. The complex, multi-targeted nature of these combined biochemical mechanisms directly facilitates the significant improvements quantified across all

histological, histochemical, and tissue-level biochemical parameters in this investigation.

Conclusions

The current paper has shown that streptozotocin-induced diabetes mellitus leads to extensive, multidimensional histological and histochemical damage of the pancreatic tissue ($p < 0.001$). These alterations include: (i) extreme loss of islets, size, and mass of beta-cells; (ii) vacuolar degeneration and inflammatory infiltration of the islets and acinar cells; (iii) marked loss of PAS-positive glycoproteins; (iv) extensive periinsular and interlobular fibrosis; and (v) almost total beta-cell degranulation. All these microstructural changes are strongly and directly associated with the level of oxidative stress in terms of elevated tissue MDA and depleted enzyme antioxidant activities, as confirmed by Pearson's correlation analysis ($p < 0.001$, $r \geq 0.87$).

Nigella sativa aqueous extract (400 g/kg/day, 8-week treatment) had significant cytoprotective effects on the diabetic pancreas, providing highly significant benefits ($p < 0.001$) against all the histopathological changes detailed above and demonstrating a robust ability to restore antioxidant homeostasis. These effects are mediated by the strong antioxidant, anti-inflammatory, anti-apoptotic, and anti-fibrotic activities of the extract, which are attributed mostly to its major active constituent, thymoquinone.

These results confirm the possible clinical use of *Nigella sativa* as a complementary therapy in the treatment of diabetes mellitus and its pancreatic complications. It is advised that further research should be conducted to: (i) determine the best dose-response relationship; (ii) profile certain molecular signaling pathways; (iii) determine long-term safety; and (iv) determine synergistic activity with traditional antidiabetic agents.

DECLARATIONS

Ethical Statement

All experimental procedures and animal handling protocols in this study were strictly conducted in accordance with the international guidelines for the Care and Use of Laboratory Animals. The experimental design was formally reviewed and officially approved by the Institutional Animal Ethics Committee of the University of Tikrit (Approval No. TU-IAEC-2024-037 dated 12 February 2024). Every possible effort was proactively made to minimize animal suffering, reduce procedural distress, and optimize the total number of animals utilized throughout the investigation.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declare that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Abukhader, M. (2012). The effect of route of administration in thymoquinone toxicity in male and female rats. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 74 (3), 195. <https://doi.org/10.4103/0250-474x.106060>
2. Ahmad, A., Husain, A., Mujeeb, M., Khan, S. A., Najmi, A. K., Siddique, N. A., Damanhour, Z. A., & Anwar, F. (2013). A review on therapeutic potential of *Nigella sativa*: A miracle herb. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 3 (5), 337–352. [https://doi.org/10.1016/s2221-1691\(13\)60075-1](https://doi.org/10.1016/s2221-1691(13)60075-1)
3. Al-Logmani, A., & Zari, T. (2009). Effects of *Nigella sativa* L. and *Cinnamomum zeylanicum* Blume oils on some physiological parameters in streptozotocin-induced diabetic rats. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8, 86–96.
4. Apte, M. V., & Wilson, J. S. (2012). Dangerous liaisons: Pancreatic stellate cells and pancreatic cancer cells. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 27 (s2), 69–74. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1746.2011.07000.x>
5. Bancroft, J. D., & Gamble, M. (Eds.). (2008). *Theory and practice of histological techniques* (6th ed.). Churchill Livingstone.
6. Datau, E. A., Wardhana, Surachmanto, E. E., Pandelaki, K., Langi, J. A., & Fias. (2010). Efficacy of *Nigella sativa* on serum free testosterone and metabolic disturbances in central obese male. *Acta Medica Indonesiana*, 42 (3), 130–134.
7. Eleazu, C. O., Eleazu, K. C., Chukwuma, S., & Essien, U. N. (2013). Review of the mechanism of cell death resulting from streptozotocin challenge in experimental animals, its practical use and potential risk to humans. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 12 (1), 60. <https://doi.org/10.1186/2251-6581-12-60>
8. Giacco, F., & Brownlee, M. (2010). Oxidative stress and diabetic complications. *Circulation Research*, 107 (9), 1058–1070. <https://doi.org/10.1161/circresaha.110.223545>
9. Harborne, J. B. (1998). *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis* (3rd ed.). Chapman & Hall.
10. International Diabetes Federation. (2021). *IDF diabetes atlas* (10th ed.). International Diabetes Federation. <https://www.diabetesatlas.org>
11. Junod, A., Lambert, A. E., Stauffacher, W., & Renold, A. E. (1969). Diabetogenic action of streptozotocin: relationship of dose to metabolic response. *Journal of Clinical Investigation*, 48 (11), 2129–2139. <https://doi.org/10.1172/jci106180>
12. Lenzen, S. (2007). The mechanisms of alloxan- and streptozotocin-induced diabetes. *Diabetologia*, 51 (2), 216–226. <https://doi.org/10.1007/s00125-007-0886-7>
13. Robertson, R. P. (2004). Chronic oxidative stress as a central mechanism for glucose toxicity in pancreatic islet beta cells in diabetes. *Journal of Biological Chemistry*, 279 (41), 42351–42354. <https://doi.org/10.1074/jbc.r400019200>
14. Srinivasan, K., & Ramarao, P. (2007). Animal models in type 2 diabetes research: an overview. *Indian Journal of Medical Research*, 125 (3), 451–472.
15. Awwaliya, E., Salim, H. M., Muhammad, D. S., Romadhani, D. F., & Nisausholihah, N. (2019). Hypoglycemic effects of extract *Nigella Sativa* in diabetic mice model. *International Islamic Medical Journal*, 1 (1), 28–31. <https://doi.org/10.33086/iimj.v1i1.1327>
16. Unger, R. H., & Cherrington, A. D. (2012). Glucagonocentric restructuring of diabetes: a pathophysiologic and therapeutic makeover. *Journal of Clinical Investigation*, 122 (1), 4–12. <https://doi.org/10.1172/jci60016>
17. Van Belle, T. L., Coppieters, K. T., & Von Herrath, M. G. (2011). Type 1 diabetes: Etiology, immunology, and therapeutic strategies. *Physiological Reviews*, 91 (1), 79–118. <https://doi.org/10.1152/physrev.00003.2010>
18. Wiernsperger, N. (2003). Oxidative stress as a therapeutic target in diabetes: revisiting the controversy. *Diabetes & Metabolism*, 29 (6), 579–585. [https://doi.org/10.1016/s1262-3636\(07\)70072-1](https://doi.org/10.1016/s1262-3636(07)70072-1)

19. Gray, J. P., Zayasbaza Burgos, D., Yuan, T., Seeram, N., Rebar, R., Follmer, R., & Heart, E. A. (2016). Thymoquinone, a bioactive component of *Nigella sativa*, normalizes insulin secretion from pancreatic β -cells under glucose overload via regulation of malonyl-CoA. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 310 (6), E394–E404. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00250.2015>
20. D'Alessio, D. (2011). The role of dysregulated glucagon secretion in type 2 diabetes. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 13 (s1), 126–132. <https://doi.org/10.1111/j.1463-1326.2011.01449.x>

ORCID

R. H. Nada 

<https://orcid.org/0009-0000-4890-3426>

E. M. Mahdi 

<https://orcid.org/0009-0002-2013-6100>

S. F. H. Abas 

<https://orcid.org/0009-0000-7423-7826>

B. Kh. Hameed 

<https://orcid.org/0000-0002-8194-6978>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Selected aspects of allergy in dogs and cats (prevalence, hematological and biochemical profiles, treatment)

O. Kyrychko¹ | A. Kyrylovych² | O. Titarenko¹

Article info

Correspondence Author

O. Kyrychko

E-mail:

olena.kyrychko@pdau.edu.ua

¹ Poltava State Agrarian University,
Skovoroda Str., 1/3, Poltava,
36000, Ukraine

² Veterinary clinic
«Murr.Kit»,
Shevchenko St., 23, Korosten,
11505, Ukraine

Citation: Kyrychko, O., Kyrylovych, A., & Titarenko, O. (2026). Selected aspects of allergy in dogs and cats (prevalence, hematological and biochemical profiles, treatment). *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 218–222. doi: 10.31210/spi2026.29.01.34

Allergy in dogs and cats is a problem for animals, their owners and veterinarians. Recently, due to changes in ecology conditions, a variety of feeds, food additives, drugs etc., its prevalence has been increasing. The aim of our research was to study the prevalence of allergy in dogs and cats, hematological and biochemical indices of the blood of animals and their treatment for skin manifestations using a natural ecologically clean solution of Poltava bischofite. It is used for the first time in this work for skin manifestations of allergy in dogs and cats. The studies were performed in the Veterinary Clinic «Zooprofi» (Korosten) and the Scientific and Advisory Center «Poltava Bischofite» of Poltava State Agrarian University. During the work, clinical, hematological, biochemical, dermatological and statistical research methods were used. From the animals sick with skin manifestations of allergy control and experimental groups were formed. The treatment of the control group animals included standard therapeutic pattern. The standard pattern of the experimental group has additionally included solution of Poltava bischofite. It was used diluted with distilled water one to one, once a day, applied to the affected area of the skin. During the observation period including allergic diseases of animals accounted for 16% of all visit to the clinic. Of these, about 61.7 % were in dogs and 38.3 % in cats. The most common clinical manifestations of allergies were: itching, frequent licking, paw bites, erythema and skin rashes, otitis, allergic conjunctivitis. In dogs, the following were most often diagnosed atopic dermatitis (40.5 %), food allergy (32.4 %), allergy to ectoparasites bites (18.9 %), rare forms of allergy including detergents, drugs, etc. (8.2 %) In cats, the most common were allergy to ectoparasites bites (43.5 %), food allergy (30.4 %), atopic dermatitis (17.4 %), rare forms of allergy (8.7 %). In the blood of sick animals with skin manifestations of allergy, an increase in the level of eosinophils, band neutrophils, total leukocytes count, ESR, total protein, ALT and AST was observed. When treating animals with skin manifestations of allergies using a solution of Poltava bischofite, the effectiveness was 23 % higher than the control. The results of the scientific study have practical value for veterinary doctors who ensure animal welfare.

Keywords: allergy, dogs, cats, prevention, hematological and biochemical indices of blood, treatment, Poltava bischofite solution.

Окремі аспекти алергії у собак і котів (поширення, гематологічний та біохімічний профіль, лікування)

О. Б. Киричко¹ | А. О. Кирилович² | О. В. Тітаренко¹

¹Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна

²Ветеринарний кабінет
«Мурр.Кіт»,
м. Коростень, Україна

Алергія у собак і котів є проблемою для тварин, їхніх власників і ветеринарних лікарів. Останнім часом у зв'язку зі змінами екологічних умов, різноманітним кормів, харчових добавок, лікарських препаратів тощо її поширеність зростає. Метою наших досліджень стало вивчення поширення алергії у собак і котів, гематологічного та біохімічного профілю тварин і їх лікування при шкірних проявах із застосуванням природного екологічно чистого розчину полтавського бішофіту. Він вперше застосований у цій роботі при шкірних проявах алергії у собак і котів. Дослідження проводилося на базі клініки ветеринарної медицини «Зоопрофі» (м. Коростень) та Науково-консультативного центру «Полтавський бішофіт» Полтавського державного аграрного університету. Під час проведення роботи використовували клінічні, гематологічні, біохімічні, дерматологічні та статистичні методи дослідження. З хворих тварин зі шкірним проявом алергії було сформовано контрольну та дослідну групи. Для лікування тваринам контрольної групи застосовували стандартну терапевтичну схему, а в дослідній групі до стандартної схеми додавали розчин полтавського бішофіту. Його застосовували у розведенні з дистильованою водою 1 : 1, 1 раз на добу, наносячи на уражену ділянку шкіри. За період спостереження алергічні захворювання тварин склали 16 % усіх звернень до клініки, з них у собак – 61,7 %, у котів – 38,3 %. Найпоширенішими клінічними проявами алергій були: свербіж, часте вилизування, укуси лап, еритема та висипання на шкірі, отит, алергічний кон'юнктивіт. У собак найчастіше діагностували atopічний дерматит (40,5 %), харчову алергію (32,4 %), алергію на укуси ектопаразитів (18,9 %), а також фіксували рідкісні форми алергії, зокрема на миючі засоби, медичні препарати тощо (8,2 %). У котів найчастішими були алергія на укуси ектопаразитів (43,5 %), харчова алергія (30,4 %), atopічний дерматит (17,4 %) та рідкісні форми алергії (8,7 %). У крові хворих тварин при шкірних проявах алергії спостерігалася підвищення рівня еозінофілів, паличкоядерних нейтрофілів, загальної кількості лейкоцитів, ШОЕ, загального білка, АЛТ та АСТ. При лікуванні тварин із шкірними проявами алергії з використанням розчину полтавського бішофіту ефективність була вищою за контроль на 23 %. Результати наукового дослідження мають практичну цінність для лікарів ветеринарної медицини, які забезпечують добробут тварин.

Ключові слова: алергія, собаки, коти, поширення, гематологічні та біохімічні показники крові, лікування, розчин полтавського бішофіту.

Бібліографічний опис для цитування: Киричко О. Б., Кирилович А. О., Тітаренко О. В. Окремі аспекти алергії у собак і котів (поширення, гематологічний та біохімічний профіль, лікування). *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 218–222.



Вступ

Алергія у собак і котів є актуальним питанням сьогодення. Останнім часом у зв'язку зі змінами екологічних умов, різноманітним кормів, харчових добавок, лікарських препаратів тощо її поширеність зростає. Алергія часто має хронічний і нерідко важкий перебіг, часті клінічні загострення, а лікування протягом усього життя стає проблемою для тварин, їхніх власників і ветеринарних лікарів [1–4].

Алергія є реакцією імунної системи на звичайні, нешкідливі речовини, які стають для неї алергенами. Вони можуть бути різноманітними, зокрема пилок рослин, кліщі, домашній пил, пліснява, харчові продукти, укуси комах, ліки та хімічні речовини. Martins et al. (2016) зазначають, що найпоширенішими джерелами алергенів для тварин є блохи, окремі аероалергени та багато харчових алергенів, які часто викликають алергічні реакції в різних органах-мішенях, таких як шкіра, очі тощо [5].

При контакті тварини, яка має таку надмірну реакцію, з алергеном її імунна система починає виробляти антитіла та інші хімічні речовини, що спричиняють запалення й різні симптоми. Тому алергія має різні типи та прояви [5, 6].

Chopiak et al. (2024), Lokes-Krupka et al. (2020), Voie et al. (2012) зазначають, що у собак і котів зустрічаються різні типи алергії. Симптоми алергії у тварин можуть варіюватися залежно від типу алергії та індивідуальної реакції тварини. Найчастіші симптоми включають: свербіж шкіри, висипання, почервоніння; випадання шерсті; розлади травлення (блювота, діарея); чхання, кашель, утруднене дихання; запалення вух та очей [4, 6, 7].

Частіше реєструються харчова алергія та atopічний дерматит. За даними різних авторів, від 10 до 20 % домашніх тварин страждають на різні форми алергії [8–10]. Так, за даними Paliy et al. (2024), atopічний дерматит вражає 10–15 % собак та 7–18 % котів [8]. Зростання цієї цифри пов'язане з різними факторами, зокрема генетичною схильністю, змінами в харчуванні, впливом навколишнього середовища та покращенням діагностики. У більшості випадків алергія не становить безпосередньої загрози для життя тварини. Однак у важких випадках, особливо при анафілактичних реакціях на укуси комах або ліки, це може викликати ризики. Хронічна алергія значно погіршує якість життя тварини, спричиняючи постійний дискомфорт, свербіж, інфекції шкіри та інші проблеми [9–11].

Gedon & Mueller (2018) зазначають, що симптоматична терапія включає глюкокортикоїди, циклоспорин, незамінні жирні кислоти та антигістамінні препарати. Селективний інгібітор Янус-кінази та алерген-імунотерапії, канінізоване моноклональне антитіло до інтерлейкіну-31 є найновішими варіантами симптоматичного лікування. Але підходи до терапії потребують вдосконалення [9].

Увагу привертають як імунологічні методи, так і відновлення поверхні шкіри. Під час вибору засобів перевага надається природним, екологічно чистим речовинам. Таким вимогам відповідає полтавський бішофіт. Це природний мінерал, основу якого

становить хлорид магнію, а також містить велику кількість корисних макро- та мікроелементів. Полтавський бішофіт є залишком стародавнього моря і видобувається з надр (до 2,5 км) розчиненням в артезіанській воді, що забезпечує його екологічну чистоту. Відомі протизапальні, імуномодулюючі, гемостимулюючі та інші властивості розчину полтавського бішофіту [12–14].

Мета дослідження

Метою наших досліджень було вивчення поширення алергії у собак і котів, гематологічного та біохімічного профілю тварин і їх лікування при шкірних проявах із застосуванням природного екологічно чистого розчину полтавського бішофіту.

Матеріали і методи

Дослідження проводилося на базі клініки ветеринарної медицини «Зоопрофі» м. Коростень Житомирської області та Науково-консультативного центру «Полтавський бішофіт» при кафедрі нормальної і патологічної анатомії та фізіології тварин Полтавського державного аграрного університету у період 2024–2025 років.

Під час проведення роботи використовували клінічні, гематологічні, біохімічні, дерматологічні та статистичні методи дослідження.

Для діагностики алергічних реакцій у тварин використовували комплексний підхід. В першу чергу проводили детальний збір анамнезу, клінічний огляд тварини, для діагностики харчової алергії та в окремих випадках медикаментозної або контактної алергії застосовували метод поступового виключення потенційних алергенів. Для виявлення причин шкірних патологій застосовувалися цитологічні методи діагностики зішкрібів та скоч-тестів з місця ураження, діагностика лампою Вуду, а також виключення бактеріальних, паразитарних і грибкових дерматозів. При отитах робили мазок з ексудату. Виготовлення препаратів проводилося за загальноприйнятими методиками, фарбування мазків за Романовським-Гімзою, використовуючи мікроскоп MICROMed XS-5520 LED (Китай).

Для гематологічного й біохімічного аналізу зразки крові відбирали з підшкірної вени передпліччя (*v. cephalica antebrachii*), стабілізували гепарином, дотримуючись загальноприйнятих правил.

У дослідженнях використовувалися гематологічний аналізатор Swelab Alfa Plus (Швеція) та біохімічний аналізатор Erba XL-200 (Чехія).

Усі виявлені хворі тварини проходили терапію, відповідну специфіці прояву. З хворих тварин зі шкірним проявом алергії було сформовано 2 групи: 1 (контрольна, n=32) та 2 (дослідна, n=5). При лікуванні тварин всіх груп застосовували антигістамінний препарат (Цетрин), інгібітор Янус-кінази собакам (Апоквель), гормональну терапію за потреби, підтримуюча терапія (Олія «Omega Balance»), місцева обробка Хлоргексидин та Vitomax салвескін. Тваринам 2 групи окрім стандартної схеми лікування застосований експериментальний спосіб – з

додаванням до базової схеми природного екологічно чистого розчину полтавського бішофіту. Його застосовували у розведенні з дистильованою водою 1 : 1, 1 раз на добу, наносячи на уражену ділянку шкіри.

Результати та їх обговорення

За період спостереження (2024 р.) у клініці ветеринарної медицини «Зоопрофі» м. Коростень,

у філіалі, що спеціалізується на дерматології, більшу частину звернень склали пацієнти з дерматологічними проблемами, включаючи алергічні захворювання тварин, які займали 16 % усіх звернень в клініку. Серед них діагностовано у 74 собак (61,7 %) та 46 котів (38,3 %).

Поширення алергії у собак і котів на дерматологічному прийомі у філії ветеринарної клініки «Зоопрофі» м. Коростень за період спостереження наведено на *рисунку 1*.

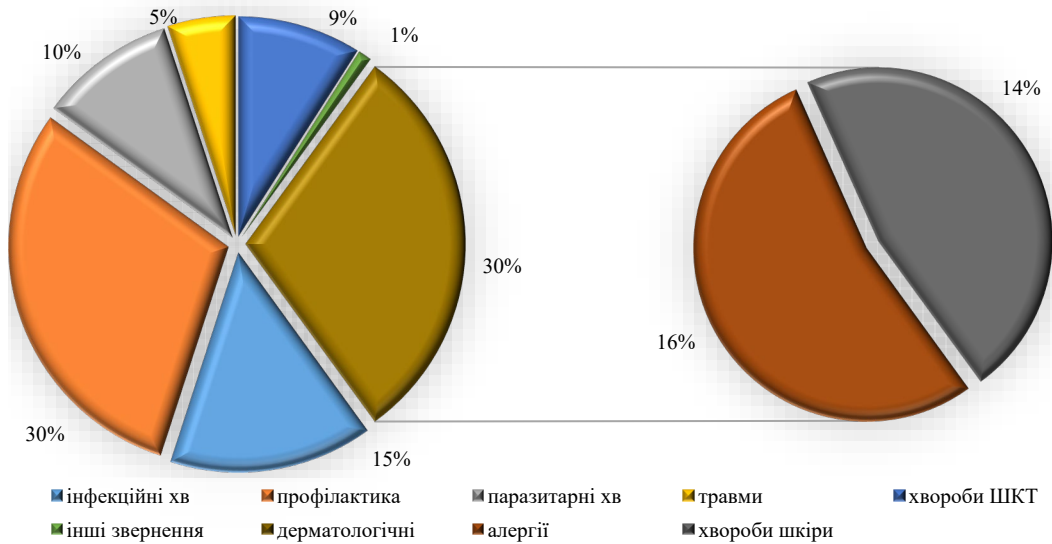


Рис. 1. Поширення алергії у собак і котів на дерматологічному прийомі у філії ветеринарної клініки «Зоопрофі» м. Коростень за період спостереження

Найпоширенішими клінічними проявами алергій були шкірні: свербіж, часте вилизування, укуси лап, еритема та висипання на шкірі (особливо в області вух, морди, живота), а також отит та кон'юнктивіт.

Поширення алергії за етіологічним фактором протягом 2024 р. наведено у *таблиці 1*.

Таблиця 1

Структура етіологічних факторів алергії у собак і котів, n = 120

Етіологічний фактор	Собаки (n=74)	Коти (n=46)	Всього (n=120)
Харчова алергія	24 (32,4 %)	14 (30,4 %)	38 (31,7 %)
Атопічний дерматит	30 (40,5 %)	8 (17,4 %)	38 (31,7 %)
Інсектна алергія (на укуси ектопаразитів)	14 (18,9 %)	20 (43,5 %)	34 (28,3 %)
Рідкісні форми алергії (медикаментозна, контактна тощо)	6 (8,2 %)	4 (8,7 %)	10 (8,3 %)

У собак найчастіше діагностували: атопічний дерматит – 40,5 %, харчову алергію – 32,4 %, алергію на укуси бліх – 18,9 %. Рідкісні форми алергії (реакції на миючі засоби, медичні препарати тощо) у 8,2 % випадків.

У котів найчастішими були: алергія на укуси бліх – 43,5 %, харчова алергія – 30,4 %, атопічний дерматит – 17,4 %, рідкісні форми алергії – 8,7 % випадків.

Поширення клінічних проявів алергії у собак та котів наведено у *таблиці 2*.

Таблиця 2

Структура клінічних проявів алергії у собак і котів за перше півріччя 2025 року, n = 58

Клінічний прояв	Собаки (n = 35)	Коти (n = 23)	Всього (n = 58)
Шкірні ураження (дерматит)	21 (60,0 %)	16 (69,6 %)	37 (63,8 %)
Алергічний кон'юнктивіт	9 (25,7 %)	7 (30,4 %)	16 (27,6 %)
Алергічний отит	5 (14,3 %)	0 (0,0 %)	5 (8,6 %)

Згідно з *таблицею 2*, більшість пацієнтів мала шкірні прояви алергії – 63,8 %, а також спостерігали алергічний отит – 8,6 % та кон'юнктивіт – 27,6 %.

Так, серед собак виявлено 21 випадок шкірного прояву, що склало 60 % алергічної патології у даного виду тварин, 5 з алергічним отитом (14,3 %) та 9 з алергічним кон'юнктивітом (25,7 %).

Серед котів реєстрували 16 випадків шкірного прояву, що склало 69 % алергічної патології у даного виду тварин, та 7 з алергічним кон'юнктивітом (30,4 %).

Для визначення змін у гематологічному та біохімічному профілі у тварин за шкірних проявів алергії було проведено аналізи крові. Результати дослідження наведені в *таблиці 3*.

Таблиця 3

Гематологічні показники тварин за шкірних проявів алергії, $M \pm m$

Показники	Собаки		Коти	
	хворі	норма	хворі	норма
Еритроцити, Т/л	6,2±0,4	5,5–8,5	7,0±0,5	6,6–9,4
Лейкоцити, Г/л	19,0±1,5	6,6–9,4	20,2±1,4	8–18
Базофіли, %	0	0–1	0	0–1
Еозинофіли, %	8,0±1,2	2–6	10,0±1,2	2–6
Нейтрофіли :				
- паличкоядерні, %	7,1±1,4	0–4	9,1±1,4	0–4
- сегментоядерні, %	56,2±1,4	55–75	56,2±1,4	35–75
Лімфоцити, %	25,2±1,8	12–30	25,2±1,8	20–55
Моноцити, %	6,0±1,2	3–10	3,0±1,2	1–5
Гемоглобін, г/л	180,0±5,2	110–190	120,2±2,5	90–160
ШОЕ, мм/год	15,0±1,5	2–15	10,3±1,5	6–10
Гематокрит, %	50,0±1,3	37–55	47,0±1,6	30–51

Примітка: норми подано відповідно до керівництва з експлуатації гематологічного аналізатора.

Дані **таблиці 3** показують, що у собак та котів з алергічною реакцією спостерігається еозинофілія, що є характерним для алергічної реакції та паразитарної інвазії. Рівень еозинофілів значно перевищував фізіологічні рівні у всіх тварин із шкірними проявами алергії. У собак цей рівень на 33,3 % вищий за максимальне референтне значення норми, а у котів – на 66,7 %. Також збільшувався вміст паличкоядерних нейтрофілів у собак – 1,8 раза вищий за максимальне референтне значення норми, а у котів – у 2,3 раза. Відповідно, збільшувалася загальна кількість лейкоцитів: у собак – у 2,0 раза, а у котів – у 1,12 раза. Показник швидкості осідання еритроцитів (ШОЕ) знаходився на максимальному референтному значенні норми як у собак, так і в котів. Динаміка таких показників характеризує розвиток запального процесу при алергії в організмі [15–19].

Результати дослідження біохімічних показників крові тварин при шкірних проявах алергії наведені у **таблиці 4**.

Таблиця 4

Біохімічні показники крові тварин при шкірних проявах алергії, $M \pm m$

Показники	Собаки		Коти	
	хворі	норма	хворі	норма
Загальний білок, г/л	76,0±1,5	55,1–75,2	80,0±1,5	57,5–79,6
Лужна фосфатаза, Од.	50,3±1,2	10,7–100,7	60,2±1,4	12–65,1
АЛТ, Од.	60,0±5,0	8,2–57,3	50,0±4,5	8,8–52,5
АСТ, Од.	52,0±4,0	8,9–48,5	39,0±3,5	9,2–39,5
Глюкоза, ммоль/л	6,4±0,3	3,4–6,0	6,3±0,3	3,4–6,9

Примітка: норми подано відповідно до керівництва з експлуатації біохімічного аналізатора.

Дані **таблиці 4** показують, що у собак та котів з алергічною реакцією рівень загального білка перевищує референтної межі. Так, загальний білок у собак становить 76,0 г/л (за норми 55,1–75,2 г/л), а у котів – 80,0 г/л (за норми 57,5–79,6 г/л). Така легка гіперпротеїнемія може бути пов'язана з імунологічними процесами в організмі, зокрема з посиленням синтезу імуноглобулінів.

Спостерігалось підвищення рівня печінкових показників АЛТ та АСТ у собак – відповідно на 4,7 та 7,2 %. У котів вони були на межі максимального референтного значення норми. Так, інші дослідники за алергії в біохімічному аналізі крові відзначали зміни рівня загального білка, АЛТ, АСТ [15, 20].

Рівень лужної фосфатази та глюкози був у межах норми.

Таким чином, у крові хворих тварин спостерігалось підвищення рівня еозинофілів, паличкоядерних нейтрофілів, загальної кількості лейкоцитів, ШОЕ, загального білка, АЛТ та АСТ.

Тварин із шкірними проявами алергії лікували згідно зі схемою, наведеною в розділі «Матеріали та методи». Тварини 1-ї та 2-ї груп мали подібні симптоми та лікування. 2-га група отримувала додатково зовнішню обробку розчином полтавського бішофіту, в результаті чого одужання відбулося швидше.

Результати лікування тварин із шкірними проявами алергії наведені в **таблиці 5**.

Таблиця 5

Результати лікування тварин при шкірних проявах алергії, діб ($M \pm m$)

Вид тварин	Групи тварин	
	1 (контрольна)	2 (дослідна)
Собаки	19,5±1,12	13,6±2,13
Коти	18,0±1,03	15,5±2,40
Всього	18,8±1,07	14,4±2,69

Як видно з **таблиці 5**, суттєвої різниці у термінах одужання між собаками та котами не спостерігалось. В середньому тварини першої групи одужували за 18,8 доби, а другої – за 14,4 доби. Ефективність лікування тварин за застосування розчину полтавського бішофіту була вищою за контроль на 23 %.

Висновки

Алергія у собак і котів є досить поширеною патологією, яка у наших дослідженнях виявлена у 16 % усіх звернень у клініку. Серед них діагностовано у 61,7 % у собак та 38,3 % у котів. Найбільш поширеними за етіологічним фактором у собак були: atopічний дерматит (40,5 %), харчова алергія (32,4 %), алергія на укуси ектопаразитів (18,9 %). Також фіксували рідкісні форми алергії, зокрема на миючі засоби, медичні препарати тощо (8,2 %). У котів алергія на укуси ектопаразитів (43,5 %), харчова алергія (30,4 %), atopічний дерматит (17,4 %), рідкісні форми алергії (8,7 %). Найбільш поширеними клінічними проявами алергії у собак та котів були шкірні прояви (63,8 %), а також спостерігали алергічний отит (8,6 %) та кон'юнктивіт (27,6 %). У крові хворих тварин за шкірних проявів алергії спостерігалось підвищення рівня еозинофілів, паличкоядерних нейтрофілів, загальної кількості лейкоцитів, ШОЕ, загального білка, АЛТ та АСТ. При лікуванні тварин із шкірними проявами алергії з використанням розчину полтавського бішофіту ефективність була вищою за контроль на 23 %.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що всі проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Клінічна та експериментальна частини роботи виконані з суворим дотриманням вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV), а також Директиви 2010/63/EU Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року про захист тварин, що використовуються для наукових цілей.

Усі діагностичні маніпуляції та терапевтичні процедури проводилися виключно після отримання офіційної інформованої згоди від власників тварин на їхню участь у дослідженні. Під час виконання роботи тваринам забезпечували належні умови утримання, якісний догляд, збалансовану годівлю, а також мінімізацію будь-яких стресових, больових чи дискомфортних чинників.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

- Mueller, R. S., Janda, J., Jensen-Jarolim, E., Rhyner, C., & Marti, E. (2015). Allergens in veterinary medicine. *Allergy*, 71 (1), 27–35. <https://doi.org/10.1111/all.12726>
- Cheung, B. Y. T. (2022). In dogs with atopic skin disease, is lokivetmab more effective than oclacitinib in reducing the score of a recognised scoring system? *Veterinary Evidence*, 7 (2). <https://doi.org/10.18849/ve.v7i2.569>
- Marsella, R. (2026). Environmental factors are responsible for the rise of atopic dermatitis in dogs: veterinarians should focus on modifiable influences. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 264 (1), 11–19. <https://doi.org/10.2460/javma.25.06.0391>
- Lokes-Krupka, T. P., Burda, T. L., & Zarytskyi, S. M. (2020). Alerhii u sviiskykh sobak (skhlynist ta klinichni oznaky) [Allergies in domestic dogs (predisposition and clinical signs)]. In *The 10th International scientific and practical conference "Modern science: problems and innovations" (December 13–15, 2020)* (pp. 34–38). SSPG Publish. [in Ukrainian]
- Martins, L. L., Bento, O. P., & Inácio, F. F. (2016). Veterinary allergy diagnosis: past, present and future perspectives. *Allergo Journal*, 25 (8), 20–32. <https://doi.org/10.1007/s15007-016-1241-4>
- Chopiak, V., & Havryliuk, A. (Eds.). (2024). *Klinichna imunohiia ta alerholohiia* [Clinical immunology and allergology]. Medytsyna. [in Ukrainian]
- Voie, K. L., Campbell, K. L., & Laverne, S. N. (2012). Drug hypersensitivity reactions targeting the skin in dogs and cats. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 26 (4), 863–874. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2012.00927.x>
- Paliy, A., Rodionova, K., Pavlichenko, O., Telyatnikov, A., & Khymych, M. (2024). Efficacy of treatment of small animals with triamcinolone-based medications for atopic dermatitis. *Scientific Horizons*, 27 (2), 19–30. <https://doi.org/10.48077/scihor2.2024.19>
- Gedon, N. K. Y., & Mueller, R. S. (2018). Atopic dermatitis in cats and dogs: a difficult disease for animals and owners. *Clinical and Translational Allergy*, 8 (1). <https://doi.org/10.1186/s13601-018-0228-5>
- Zhang, J., Ji, Y., Yang, Y., & Wu, Z. (2025). Grain-free diets for dogs and cats: an updated review focusing on nutritional effects and health considerations. *Animals*, 15 (14), 2020. <https://doi.org/10.3390/ani15142020>
- Jackson, H. A. (2023). Food allergy in dogs and cats; current perspectives on etiology, diagnosis, and management. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 261 (S1), S23–S29. <https://doi.org/10.2460/javma.22.12.0548>
- Berdnyk, V. P., Aranchii, S. V., Kyrychko, B. P., Berdnyk, I. Yu., Kyrychko, O. B., Tytarenko, O. V., Kit, A. A., Rakovska, Yu. O., & Pasyonoha, O. O. (2012). *Metodychni rekomendatsii shchodo zastosuvannya poltavskoho bishofitu u veterynarnii medytsyni ta tvarynnytsvi* [Methodological recommendations for the use of Poltava bischofite in veterinary medicine and animal husbandry]. Poltava State Agrarian Academy. [in Ukrainian]
- Kyrychko, O. B., Sherstiuk, L. M., & Panova, A. M. (2021). Haematological and biochemical indices of blood in cats with feline panleukopenia when using Poltava bischofite solution. *Scientific Progress & Innovations*, 4, 233–238. <https://doi.org/10.31210/visnyk2021.04.31>
- Berdnyk, V. P., & Kit, A. A. (2011). Hematoloichni ta biokhimichni pokaznyky porosiats-sysuniv pislia nashkirnoho zastosuvannya rozchynu Poltavskoho bishofitu [Hematological and biochemical parameters of suckling piglets after cutaneous application of Poltava bischofite solution]. *Naukovi Pratsi Poltavskoi Derzhavnoi Ahramoi Akademii. Seriya: Vetrynarna Medytsyna*, 1, 3–8. [in Ukrainian]
- Miller, J., Simpson, A., Bloom, P., Diesel, A., Friedeck, A., Paterson, T., Wisecup, M., & Yu, C.-M. (2023). 2023 AAHA management of allergic skin diseases in dogs and cats guidelines. *Journal of the American Animal Hospital Association*, 59 (6), 255–284. <https://doi.org/10.5326/jaaha-ms-7396>
- Morales-Romero, R., Gonzalez-Dominguez, M. S., Sánchez, J., Correa-Valencia, N. M., & Maldonado-Estrada, J. G. (2025). Efficacy of diagnostic testing for allergen sensitization in canine atopic dermatitis: a systematic review. *Frontiers in Veterinary Science*, 12. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1551207>
- Curtis, C. F. (2022). Pruritus in dogs and cats part 2: allergic causes of pruritus and the allergic patient. *The Veterinary Nurse*, 13 (10), 472–478. <https://doi.org/10.12968/vetn.2022.13.10.472>
- Levchenko, V. I., Sokoliuk, V. M., & Bezrukh, V. M. (2002). *Doslidzhennia krovi tvaryn ta klinichna interpretatsiia otrymanykh rezultativ* [Animal blood research and clinical interpretation of the obtained results]. Bila Tserkva National Agrarian University. [in Ukrainian]
- Drechsler, Y., Dong, C., Clark, D., & Kaur, G. (2024). Canine atopic dermatitis: Prevalence, impact, and management strategies. *Veterinary Medicine: Research and Reports*, 15, 15–29. <https://doi.org/10.2147/vmrr.s412570>
- Stotska, O. I. (2021). Zahalnyi analiz krovi ta leukoformula sobak za atopichnoho dermatytu [Complete blood count and leukogram in dogs with atopic dermatitis]. In *Modern methods of diagnostic, treatment and prevention in veterinary medicine: Conference proceedings* (pp. 140–141). Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv. [in Ukrainian]

ORCID

- O. Kyrychko  <https://orcid.org/0000-0002-0769-0804>
A. Kyrylovych  <https://orcid.org/0009-0009-4226-2176>
O. Titarenko  <https://orcid.org/0000-0002-7370-8523>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Comparative histological evaluation of topical repair cream and systemic Omega-3 supplementation on canine skin wound healing

H. N. Alkhalissi✉

Article info

Correspondence Author

H. N. Alkhalissi

E-mail:

hider.ali@uokerbala.edu.iqCollege of Veterinary
Medicine, University of
Kerbala,
Karbala, 56001, Iraq

Citation: Alkhalissi, H. N. (2026). Comparative histological evaluation of topical repair cream and systemic Omega-3 supplementation on canine skin wound healing. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 223–230. doi: 10.31210/spi2026.29.01.35

Cutaneous wound management represents a significant clinical challenge in veterinary medicine, directly impacting the quality of life and recovery rate in canine patients. Successful dermal restoration requires advanced therapeutic strategies capable of accelerating tissue regeneration, minimizing scar formation, and restoring the natural structural integrity of the skin barrier. Consequently, evaluating the efficacy of diverse treatments remains essential for optimizing dermatological protocols. This study aimed to evaluate the histological effects of a topical Cicalfate⁺ repair cream on skin wound healing in dogs and to compare its efficacy with Omega-3 supplementation. Full-thickness cutaneous wounds measuring 3 × 3 cm were experimentally induced in the dorsal back area of twelve healthy male dogs under general anesthesia induced by atropine sulfate (0.04 mg/kg, SC), ketamine hydrochloride (10 mg/kg, IV), and xylazine (2 mg/kg, IM). The animals were randomly divided into three groups: group (A) treated with Cicalfate⁺ repair cream topically twice daily, group (B) treated with a single daily oral dose of Omega-3 (300 mg), and group (C) left untreated as a control. At designated time a skin biopsies were collected under general anesthesia on days 3, 7, and 14 post-wounding, while animals remained alive throughout the experimental period. Full-thickness skin samples were processed for histological and histometrical examination to assess the thickness of the epidermal layers (stratum corneum and stratum spinosum), dermal thickness, and dermal papillae development. Morphometric analysis on day 14 revealed that Cicalfate⁺ treatment promoted balanced epidermal maturation, achieving a physiological stratum corneum thickness of 19.22±0.18 µm, which prevented the hyperkeratosis observed in group C (51.03±0.14 µm) and the severe thinning seen in group B (7.35±0.25 µm) (P≤0.05). Furthermore, group A demonstrated the most prominent tissue restructuring, with a significantly greater stratum spinosum thickness (60.37±2.52 µm) and dermal thickness (191.35±0.49 µm) compared to group B (7.34±0.38 µm and 88.32±0.3 µm) and group C (9.26±0.27 µm and 47.18±0.17 µm, respectively; P≤0.05). In conclusion, the topical repair cream significantly enhanced the histological features of skin wound healing in dogs compared with Omega-3 treatment and untreated controls. The findings suggest that the repair cream promotes balanced epidermal regeneration, effective dermal remodeling, and improved dermo-epidermal integration with enhanced vascular supply, nutrient delivery, and increased cellularity, making it a promising therapeutic option for enhancing cutaneous wound healing.

Keywords: Skin wound healing, Histology, Repair cream, Omega-3, dogs.

Порівняльна гістологічна оцінка місцевого відновлювального крему та системного застосування Омега-3 на загоєння ран шкіри у собак

X. Н. Альхаліссі

Коледж ветеринарної
медицини, Університет
Кербели,
провінція Кербела, Ірак

Лікування ран шкіри є серйозним клінічним викликом у ветеринарній медицині, що безпосередньо впливає на якість життя та швидкість одужання собак. Успішне відновлення дерми вимагає передових терапевтичних стратегій. Відповідно, оцінка ефективності різних методів лікування залишається важливою для оптимізації дерматологічних протоколів. Дане дослідження мало на меті оцінити гістологічні ефекти місцевого застосування відновлювального крему Cicalfate⁺ на загоєння ран шкіри у собак та порівняти його ефективність із пероральним введенням Омега-3. Повношарові шкірні рани розміром 3 × 3 см були експериментально змодельовані в ділянці спини дванадцяти здорових кобелів під загальною анестезією. Тварини були випадковим чином розділені на три групи: група (А), де двічі на день місцево застосовували відновлювальний крем Cicalfate⁺; група (В), де перорально вводили одноразову щоденну дозу Омега-3 (300 мг); та група (С), яка залишалася без лікування як контроль. У визначені терміни на 3-й, 7-й та 14-й дні після моделювання рани під загальною анестезією здійснювали забір біоптатів шкіри, при цьому тварини залишалися живими протягом усього експериментального періоду. Повношарові зразки шкіри піддавали гістологічному та гістометричному дослідженню для оцінки товщини шарів епідермісу (рогового та шипуватого), товщини дерми та розвитку дермальних сосочків. Морфометричний аналіз на 14-й день показав, що застосування Cicalfate⁺ забезпечує збалансоване дозрівання епідермісу, досягаючи фізіологічної товщини рогового шару 19,22±0,18 мкм, що запобігало розвитку гіперкератозу, характерного для групи С (51,03±0,14 мкм), та вираженого стоншення, спостережуваного в групі В (7,35±0,25 мкм) (P≤0,05). Крім того, у групі А відмічено найбільш виражену перебудову тканин із вірогідно більшою товщиною шипуватого шару (60,37±2,52 мкм) та товщиною дерми (191,35±0,49 мкм) порівняно з групою В (7,34±0,38 мкм та 88,32±0,38 мкм) і групою С (9,26±0,27 мкм та 47,18±0,17 мкм відповідно; P≤0,05). В результаті, місцевий відновлювальний крем сприяв збалансованій регенерації епідермісу, ефективному моделюванню дерми та покращенню дермо-епідермальної інтеграції з кращим судинним забезпеченням, доставкою поживних речовин, що робить його перспективним терапевтичним засобом для покращення загоєння шкірних ран.

Ключові слова: загоєння ран шкіри, гістологія, відновлювальний крем, Омега-3, собаки.



Бібліографічний опис для цитування: Альхаліссі X. Н. Порівняльна гістологічна оцінка місцевого відновлювального крему та системного застосування Омега-3 на загоєння ран шкіри у собак. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 223–230.

Introduction

The skin is the largest organ in the body, providing the first line of physical, chemical, and immunological defense against external insults. It is composed of three main layers-the epidermis, dermis, and hypodermis-with each layer serving unique roles in protection, thermoregulation, sensation, and metabolic functions [1].

The epidermis, in turn, is histologically divided into five structural strata (from deep to superficial: stratum basale, stratum spinosum, stratum granulosum, stratum lucidum, and stratum corneum). In contrast, the dermis is of mesodermal origin and composed largely of connective tissue matrix and cellular elements [2].

A skin wound is defined as damage to the structural integrity of the tissue following a rupture caused by physical, chemical, thermal, or biological agents. These injuries disrupt the protective skin barrier, triggering a complex sequence of biological events aimed at restoring tissue homeostasis [3].

Such disruptions in tissue continuity can involve one or multiple layers of the skin. Wounds are typically categorized by their etiology, depth, and duration. For instance, acute wounds-such as simple surgical incisions and traumatic injuries-undergo a normal, orderly, and timely reparative process. Conversely, chronic wounds, including diabetic ulcers and pressure sores, fail to progress through the typical stages of healing, usually due to persistent inflammation or underlying systemic diseases [4].

Thus, cutaneous wound healing is a highly regulated biological process that aims to restore tissue architecture and function [2]. During this process, multiple cell types, extracellular matrix components, cytokines, and growth factors interact with each other in a highly orchestrated manner [3].

Depending on the severity, acute wounds can vary from minor superficial scratches to extensive tissue injuries. However, they are all characterized by a predictable physiological healing pathway, which normally results in complete tissue restoration within approximately three weeks [5–7].

Dogs are among the most commonly used experimental models in biomedical and veterinary sciences. They are utilized either to address specific canine diseases or to serve as a translational model to enhance human health research, with their close physiological and clinical similarities to humans providing strong justification for this model choice [8, 9].

To optimize wound care, a variety of treatment strategies have been suggested, including hyperbaric oxygen therapy, modern wound dressings, and advanced antimicrobial agents [10].

Omega-3 fatty acids are essential polyunsaturated fatty acids required for normal physiological functions, naturally found in marine products-particularly fish and fish oil-as well as certain plant seed oils. While widely used for their dietary benefits and anti-inflammatory properties, such as reducing the severity of rheumatoid arthritis [11], marine Omega-3 fatty acids (EPA/DHA) can also modulate the early inflammatory phase of

cutaneous wound healing. For instance, a randomized, double-blind study using standardized suction-blister wounds demonstrated that a 4-week omega-3 dietary supplementation reduced the plasma AA : EPA ratio and elevated local IL-1 β levels in blister fluid at 24 hours, showing a trend toward a slower time to complete wound closure compared to a placebo [12].

In the search for innovative products capable of modulating the immune response, postbiotics have emerged as promising candidates. These soluble bioactive compounds, which are secreted by probiotics, represent a relatively underexplored category of therapeutic agents in the context of tissue repair [13, 14].

Previous research has demonstrated that postbiotics exhibit a broad spectrum of biological activities, including anti-inflammatory, antimicrobial, immunomodulatory, and antioxidant effects. Nevertheless, many aspects of the mechanisms underlying these activities, as well as their full biological potential, remain insufficiently understood or largely unexplored [15].

There is considerable growing interest in the application of postbiotics in wound care, as this novel and safer delivery of microbe-derived bioactivity does not require adding live organisms to already-compromised tissue. In short, the International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus describes a postbiotic as a preparation of inanimate microorganisms and/or their components that confers a health benefit on the host when administered in adequate amounts. This inactivation may be associated with beneficial metabolites; however, purified metabolites per se are not considered postbiotics [12]. Such a framework facilitates topical postbiotic development where safety and stability are paramount, especially in infected or chronic wounds where the systemic entry of live microbes into the bloodstream is a real clinical concern [16].

Cicalfate® repair cream features a distinct composition of four dermal restorative and protective active ingredients designed to restore the skin barrier. Within this formulation, zinc sulfate and copper sulfate exert a potent physical antibacterial effect, while zinc oxide acts as a protective agent by forming a reliable film barrier directly on the skin surface.

Additionally, Avène Thermal Spring Water is incorporated for its well-documented soothing, anti-irritant, and anti-inflammatory properties. The formulation also utilizes *Aquaphilus dolomiae*, a unique bacterium naturally present in Avène Thermal Spring Water. Through a specialized biotechnological extraction process, this microorganism yields a bioactive postbiotic compound known as C+ Restore™. Collectively, these synergistic components enhance epidermal repair and promote accelerated skin recovery, with reported healing occurring up to four times faster [17, 18].

The aim of the study

The present study aimed to evaluate the histological effects of a topical *Cicalfate*® repair cream on cutaneous wound healing in dogs and to compare its therapeutic efficacy with systemic Omega-3 supplementation.

Materials and methods

Animals and Experimental Design

A total of twelve adult male dogs, weighing 18–25 kg, were utilized in this study. The animals were randomly allocated into three groups ($n = 4$ dogs per group). All dogs were housed individually under standard laboratory conditions at the animal facility of the College of Veterinary Medicine, University of Kerbala. The animals had ad libitum access to water and a standard diet under uniform environmental and management conditions throughout the experimental period. To ensure optimal health, all dogs underwent a complete clinical examination every two days. Prior to surgery, the animals were fasted for 6–12 hours, with water withheld for 5 hours.

Anesthesia and Surgical Procedure

The animals were placed in a ventral recumbent position to aseptically expose the interscapular region of the dorsal back surface. Premedication was achieved with atropine sulfate (0.04 mg/kg, SC), followed by the induction of general anesthesia using a combination of ketamine hydrochloride (10 mg/kg, IV) and xylazine (2 mg/kg, IM). A full-thickness cutaneous wound measuring 3×3 cm was surgically induced in the mid-dorsal thoracic region of each animal. To prevent self-trauma and interference with the wound site, an Elizabethan collar was fitted immediately after the procedure.

Experimental Groups and Treatment Protocol

The experimental animals were assigned to three distinct groups:

- *Group A*: received topical application of Cicalfate⁺ repair cream twice daily for 14 days.
- *Group B*: received a single daily oral dose of 300 mg Omega-3 for 14 days [20].
- *Group C*: remained untreated, serving as a negative control group.

The commercial Cicalfate⁺ repair cream utilized in this study is composed of the following active ingredients: 1 % C+ Restore™ postbiotic, 0.2 % copper sulfate, 0.1 % zinc sulfate, 4 % zinc oxide, and 45 % Avène Thermal Spring Water. This postbiotic formulation is characterized by its therapeutic, antibacterial, soothing, and anti-inflammatory properties.

Tissue Sampling and Histological Processing

Histological assessment was conducted on days 3, 7, and 14 post-wounding for all groups [19]. At designated time points, animals were euthanized under general anesthesia, and full-thickness skin specimens 3×3 cm encompassing the wound site were obtained immediately after death. The tissue samples were fixed by immersion in a 10 % formalin solution, subjected to routine tissue processing, and stained with hematoxylin and eosin (H&E) [21].

Results and discussion

The present study demonstrated distinct and statistically significant histological dynamics across the experimental groups during the 14-day cutaneous wound healing period.

Stratum Corneum Thickness

In Group A (Cicalfate⁺), the thickness of the stratum corneum showed a gradual and significant time-dependent increase from day 3 to day 14 ($P \leq 0.05$), measuring $8.25 \pm 0.33 \mu\text{m}$, $10.18 \pm 0.26 \mu\text{m}$, and $19.22 \pm 0.18 \mu\text{m}$, respectively (*Table 1*; *Figs. 1, 2*, and *3*).

Table 1

Stratum corneum thickness across experimental groups (μm , Mean $\pm$ SD)

Groups	Day 3	Day 7	Day 14
Cicalfate ⁺ (Group A)	8.25 ± 0.33^a	10.18 ± 0.26^b	19.22 ± 0.18^c
Omega-3 (Group B)	10.11 ± 0.15^a	12.17 ± 0.15^b	7.35 ± 0.25^c
Control (Group C)	25.25 ± 0.49^a	43.85 ± 0.76^b	51.03 ± 0.14^c

Note: Means within the same row with different superscript letters (^{a,b,c}) are statistically significantly different according to ANOVA ($P \leq 0.05$).

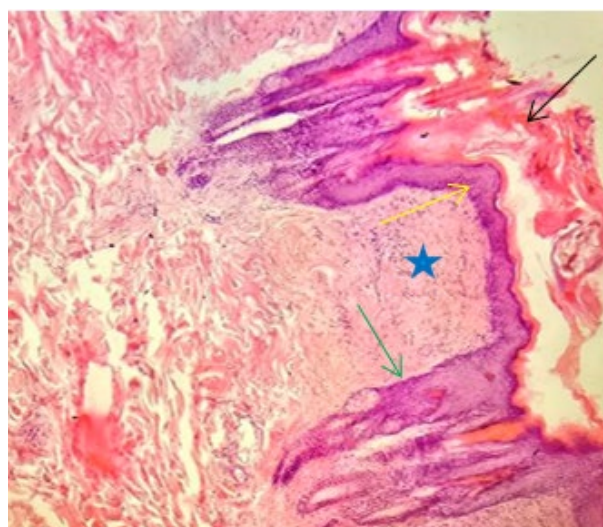


Fig. 1. Histological cross-section of group (A) at day 3 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow), dermis (blue star), and dermal papillae (green arrow). (H&E 100x).

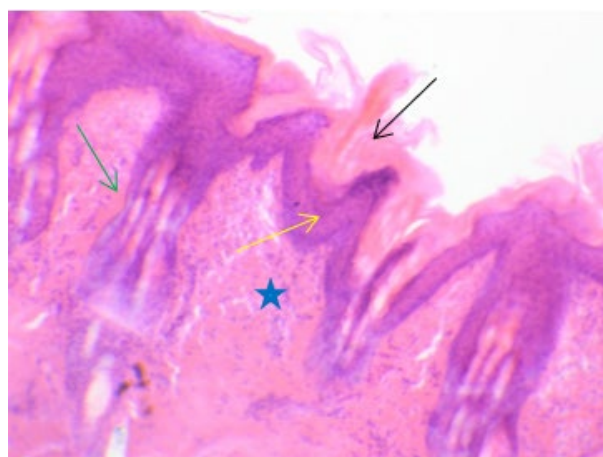


Fig. 2. Histological cross-section of group (A) at day 7 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow), dermis (blue star), and dermal papillae (green arrow). (H&E 100x).

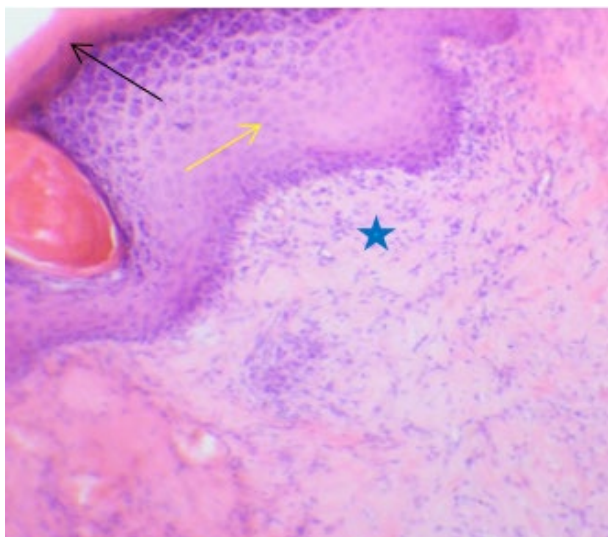


Fig. 3. Histological cross-section of group (A) at day 14 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow), and dermis (blue star). (H&E 100x).

Conversely, histopathological assessment of Group B (Omega-3) showed a gradual increase in stratum corneum thickness from day 3 ($10.11 \pm 0.15 \mu\text{m}$) to day 7 ($12.17 \pm 0.15 \mu\text{m}$) post-wounding ($P \leq 0.05$; **Figs. 4** and **5**), followed by a significant thinning to $7.35 \pm 0.25 \mu\text{m}$ by day 14 (**Fig. 6**).

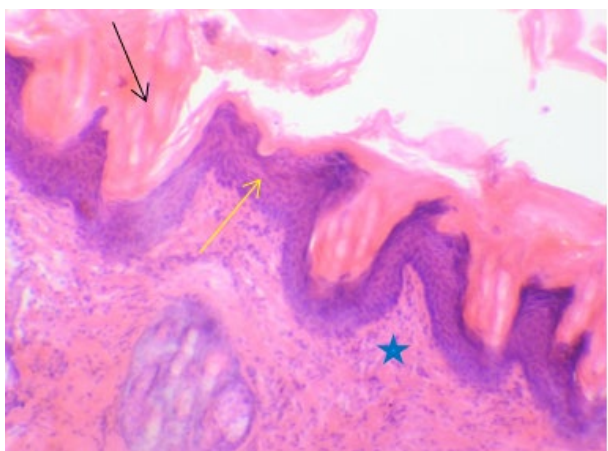


Fig. 4. Microscopic cross-view of group (B) at day 3 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow), and dermis (blue star). (H&E 100x).

In Group C (Control), the stratum corneum thickness in untreated wounds increased progressively after the third day, reaching its maximum value of $51.03 \pm 0.14 \mu\text{m}$ on day 14 ($P \leq 0.05$). The values were recorded at $25.25 \pm 0.49 \mu\text{m}$ on day 3, $43.85 \pm 0.76 \mu\text{m}$ on day 7, and $51.03 \pm 0.14 \mu\text{m}$ on day 14 (**Figs. 7, 8, and 9**).

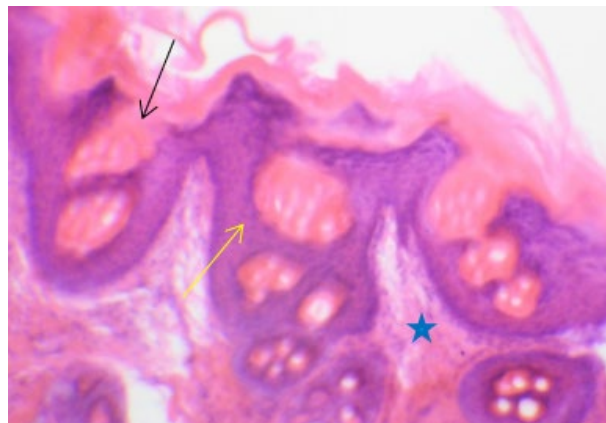


Fig. 5. Microscopic cross-view of group (B) at day 7 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow), and dermis (blue star). (H&E 100x).

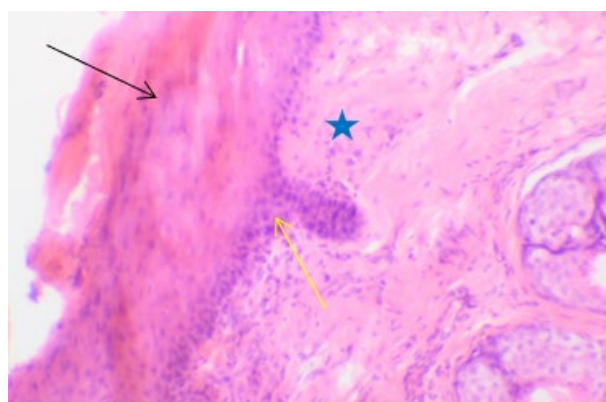


Fig. 6. Microscopic cross-view of group (B) at day 14 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow), and dermis (blue star). (H&E 100x).

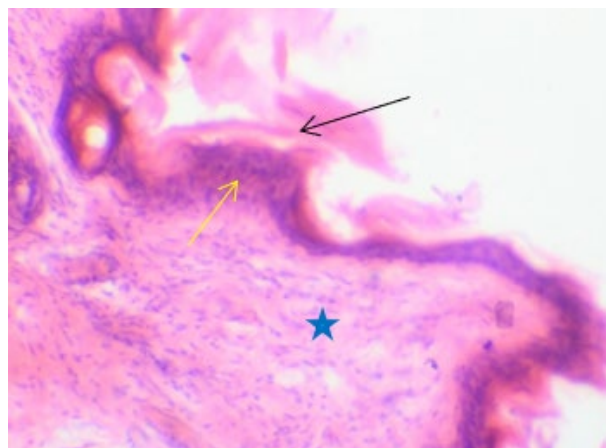


Fig. 7. Microscopic cross view of group (C) at day 3 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow) and dermis (blue star). (H&E 100x).

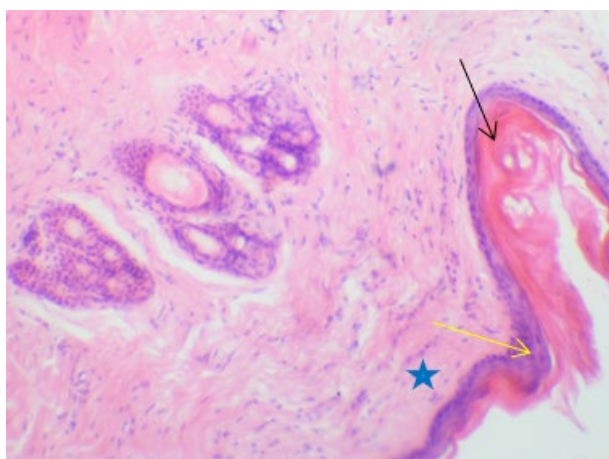


Fig. 8. Microscopic cross view of group (C) at day 7 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow) and dermis (blue star). (H&E 100x).

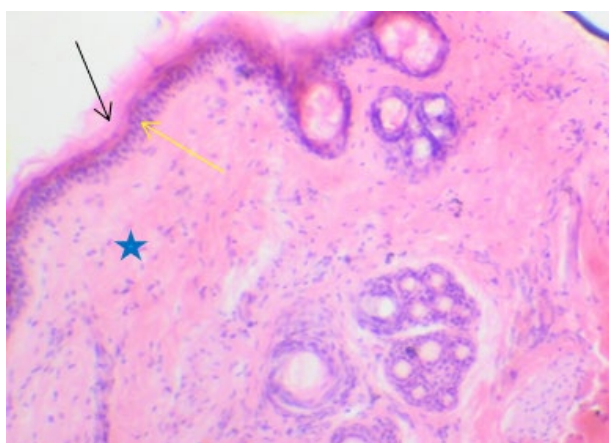


Fig. 9. Microscopic cross-view of group (C) at day 14 showed stratum corneum (black arrow), stratum spinosum (yellow arrow), and dermis (blue star). (H&E 100x).

Stratum Spinosum Thickness

Histologically, Group A exhibited a progressive and highly significant increase in stratum spinosum thickness over the course of the study ($P \leq 0.05$), with measurements reaching $13.04 \pm 0.13 \mu\text{m}$ on day 3, $21.25 \pm 0.36 \mu\text{m}$ on day 7, and peaking sharply at $60.37 \pm 2.52 \mu\text{m}$ on day 14 (**Table 2**; **Figs. 1, 2, and 3**).

Table 2

Stratum spinosum thickness across experimental groups (μm , Mean $\pm$ SD)

Groups	Day 3	Day 7	Day 14
Cicalfate ⁺ (Group A)	13.04 ± 0.13^a	21.25 ± 0.36^b	60.37 ± 2.52^c
Omega-3 (Group B)	9.28 ± 0.3^a	20.35 ± 0.43^b	7.34 ± 0.38^c
Control (Group C)	7.18 ± 0.30^a	8.16 ± 0.26^a	9.26 ± 0.27^b

Note: Means within the same row with different superscript letters (^{a,b,c}) are statistically significantly different according to ANOVA ($P \leq 0.05$).

In Group B, the stratum spinosum gradually grew thicker from day 3 ($9.28 \pm 0.31 \mu\text{m}$) to day 7 ($20.35 \pm 0.43 \mu\text{m}$) ($P \leq 0.05$; **Figs. 4 and 5**), but a significant

decline to $7.34 \pm 0.38 \mu\text{m}$ was observed at the end of the experimental period (**Fig. 6**).

In Group C, the untreated wounds revealed only a minimal and stagnant increase in stratum spinosum thickness between day 3 and day 14 ($P \leq 0.05$), with recorded values of $7.18 \pm 0.30 \mu\text{m}$, $8.16 \pm 0.26 \mu\text{m}$, and $9.26 \pm 0.27 \mu\text{m}$, respectively (**Figs. 7, 8, and 9**).

Dermal Thickness and Dermal Papillae

Histological alterations showed a significant thickening of the dermis in Group A, particularly during the latter part of the study ($P \leq 0.05$). The dermal thickness values were measured at $163.18 \pm 0.81 \mu\text{m}$, $173.30 \pm 0.49 \mu\text{m}$, and $191.35 \pm 0.49 \mu\text{m}$ for days 3, 7, and 14, respectively (**Table 3**; **Figs. 1, 2, and 3**), representing the highest overall values among all groups.

Table 3

Dermal thickness across experimental groups (μm , Mean $\pm$ SD)

Groups	Day 3	Day 7	Day 14
Cicalfate ⁺ (Group A)	163.18 ± 0.81^a	173.30 ± 0.49^b	191.35 ± 0.49^c
Omega-3 (Group B)	120.24 ± 0.31^a	244.27 ± 1.20^b	88.32 ± 0.38^c
Control (Group C)	80.60 ± 0.76^a	83.14 ± 0.72^a	47.18 ± 0.17^b

Note: Means within the same row with different superscript letters (^{a,b,c}) are statistically significantly different according to ANOVA ($P \leq 0.05$).

In Group B, dermal thickness significantly increased to $120.24 \pm 0.31 \mu\text{m}$ on day 3 and peaked markedly at $244.27 \pm 1.20 \mu\text{m}$ on day 7 ($P \leq 0.05$; **Figs. 4 and 5**), but declined again by day 14 to $88.32 \pm 0.38 \mu\text{m}$ (**Fig. 6**).

Group C exhibited a slight but statistically significant increase between day 3 ($80.60 \pm 0.76 \mu\text{m}$) and day 7 ($83.14 \pm 0.72 \mu\text{m}$) ($P \leq 0.05$; **Figs. 7 and 8**), followed by a notable decrease to a minimum of $47.18 \pm 0.17 \mu\text{m}$ by day 14 (**Fig. 9**).

Additionally, the development and frequency of the Dermal Papillae at the dermo-epidermal junction were found to be significantly higher in Group A than in the other experimental groups (**Figs. 1 and 2**).

The present study provides a detailed histological comparison of wound healing in canine skin treated with a repair cream, Omega-3 supplementation, and untreated controls. The observed variations among the experimental groups reflect distinct effects on epidermal regeneration, dermal remodeling, and dermo-epidermal integration, which collectively determine the quality and efficiency of wound healing.

Compared to their respective controls, administration of the repair cream led to an increase in the thickness of the stratum corneum in group (A) as early as day 3 post-wounding, and the increase was also time-dependent over the course of 14 days ($p < 0.01$). This regulated thickening seems to reflect a beneficial adaptation in the course of healing. At the same time, we know that low levels of SC thickening early on can aid in keratinocyte migration and lateral spreading, necessary processes in re-epithelialization and wound closure [22]. The clearly marked stratum corneum thickening at day 14 indicates

restoration of epidermal barrier function, which is vital to limit transepidermal water loss, provide a homeostatic level of skin hydration, and prevent entry of microorganisms [23].

The favorable effect seen in group (A) could be due to the moisturizer and repair cream ingredients (Avène thermal spring water, zinc oxide, copper sulfate, and zinc sulfate). Notably, zinc ions are crucial for keratinocyte proliferation, epithelial differentiation, and the antimicrobial defense involved in wound healing activities [24]. In addition, the appearance of postbiotic entities such as C+ Restore™ may influence local inflammatory responses and facilitate epidermal repair by increasing cellular metabolism and accelerating barrier repair mechanisms [25].

Conversely, group (B), in which the model was treated with Omega-3, only showed a slight increase in stratum corneum thickness in the early post-healing phase. Moreover, a significant decrease in stratum corneum thickness could be observed at day 14 post-healing. The anti-inflammatory effects of Omega-3 fatty acids are well established and they can also modify wound healing pathways [26], but the thinning of the stratum corneum at 2-week timepoints interpreted within the context of epidermal barrier function raises questions about the appropriateness of high Omega-3 fatty acid for certain wound types. A poorly formed stratum corneum may put the wound bed at risk for fluid loss and bacterial colonization, thus impairing the signaling required for best tissue repair [27].

In addition to that, group (C) appeared to have a very thickening stratum corneum early and gradually throughout the experiment period. This hyperkeratosis is usually related to migration dysfunction of keratinocytes and delayed re-epithelialization, which results in prolonged healing time and promotion of scar formation [28]. This was the first indication that, without therapeutic intervention, epidermal repair may be random rather than regenerative.

In group (A), stratum spinosum clearly increased in thickness, especially on day 14, which indicates increased keratinocyte proliferation and upward migration. This reaction is characteristic of epidermal healing and effective re-epithelialization, important processes required for recover of normal skin structure after skin injury [3]. This sustained elevation also indicates that the repair cream drove a leveled augmentative response without causing deleterious hyperplasia. In group (B), the stratum spinosum thickness decreased at the end of the study, while it increased at the middle stage. This pattern suggests a transient, and not a sustained, epidermal response to the intervention, which could result from the anti-proliferative effects ascribed to sustained Omega-3 activity [29], whereby excess cellular proliferation is inhibited, but epidermal regeneration is slowed in isolation. For group (C), we recognized only slight changes in stratum spinosum thickness, notwithstanding a statistical significance there. Such weak epidermal response was associated with delayed wound healing and indicates insufficient keratinocyte activation, which in natural circumstances requires supportive therapeutic agents.

Background Dermal remodeling reflects fibroblast activity, collagen deposition, and neovascularization, and is an important determinant of wound healing quality. In group (A), dermal thickness showed a gradual and marked increase until day 14. Such a result indicates better angiogenesis as well as the supply of nutrients to the neo-formation of epidermis that is essential for maintaining tissue regeneration [30]. The increase in dermal thickness is frequently accompanied by well-organized collagen and a restored functional dermal architecture. In group (B), dermal thickness increased at first but thereafter showed a pronounced decrease during the course of the experiment. These variations potentially reflect an initial stimulation of dermis repair subsequently compromised by inadequate maintenance of vascular and structural support that ultimately impair epidermal regeneration [31]. In contrast group (C) showed only modest early increases in dermal thickness followed by a marked decrease. Such a pattern suggests impaired fibroblast activity and low vascularization which has been reported to prolong wound healing and weaken the tissue [32].

Perhaps the most important observation from the current work was that dermal papillae height increased in the group (A). Greater number of dermal papillae increases dermal – epidermal contact surface, allowing for a stronger adhesion and resisting mechanical shear forces [33]. Such a structural adaptation enhances mechanical stability, and allows the facilitation of oxygen and nutrient diffusion from dermal microvasculature to the epidermis, thus allowing continuous maintenance of epidermal turnover. In contrast, the less developed dermal papillae seen in (B) and (C) indicate weaker dermo-epidermal interactions, which may in part explain their poorer wound healing phenotype.

Histology results highly correlated. At all sections, the histological features indicate a synergic environment created by group (A) of the repair cream for optimal wound healing including balanced rate of epidermal proliferation with full restoration of barrier, adequate remodeling of dermis and strong dermal-epidermal integration. Omega-3 supplementation alone (group B) had minimal transient effects and absence of treatment (group C) resulted in delayed but incomplete healing. These findings highlight the importance of topical reparative agents in modulating cellular and structural processes during canine skin wound healing.

Conclusions

The present study demonstrates that the topical application of Cicalfate⁺ repair cream creates a highly synergistic microenvironment that significantly optimizes cutaneous wound healing in dogs compared to systemic Omega-3 supplementation and untreated controls. By day 14 post-wounding, Cicalfate⁺ treatment promotes a balanced and controlled maturation of the epidermal barrier, achieving a physiological stratum corneum thickness of $19.22 \pm 0.18 \mu\text{m}$, which successfully prevents hyperkeratosis seen in the control group ($51.03 \pm 0.14 \mu\text{m}$) and severe epidermal thinning observed in the Omega-3 group ($7.35 \pm 0.25 \mu\text{m}$). Furthermore, the repair cream

drives robust tissue restructuring, significantly maximizing both stratum spinosum thickness ($60.37 \pm 2.52 \mu\text{m}$) and dermal thickness ($191.35 \pm 0.49 \mu\text{m}$) by the end of the experimental period. This is structurally reinforced by an enhanced development of dermal papillae, which ensures superior mechanical stability and dermo-epidermal adhesion. Collectively, these findings establish the postbiotic-containing Cicalfate⁺ repair cream as a highly effective and safe therapeutic agent for accelerating and enhancing structured cutaneous wound regeneration in veterinary dermatology.

DECLARATIONS

Ethical Statement

The research plan was approved by the committee of the College of Veterinary Medicine, University of Kerbala [UOK.VET.AN.179] in [8.1.2026].

Funding

This research received no external funding.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declares that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

- Ross, M. H., & Pawlina, W. (2020). *Histology: A text and atlas: With correlated cell and molecular biology* (8th ed.). Wolters Kluwer
- Eroschenko, V. P. (2013). *di Fiore's atlas of histology with functional correlations* (11th ed., South Asian ed., pp. 216–224). Wolters Kluwer; Lippincott Williams & Wilkins.
- Gurtner, G. C., Werner, S., Barrandon, Y., & Longaker, M. T. (2008). Wound repair and regeneration. *Nature*, 453 (7193), 314–321. <https://doi.org/10.1038/nature07039>
- Guo, S., & DiPietro, L. A. (2010). Factors affecting wound healing. *Journal of Dental Research*, 89 (3), 219–229. <https://doi.org/10.1177/0022034509359125>
- Sen, C. K. (2021). Human wound and its burden: Updated 2020 compendium of estimates. *Advances in Wound Care*, 10 (5), 281–292. <https://doi.org/10.1089/wound.2021.0026>
- Martin, P., & Nunan, R. (2015). Cellular and molecular mechanisms of repair in acute and chronic wound healing. *British Journal of Dermatology*, 173 (2), 370–378. <https://doi.org/10.1111/bjd.13954>
- Dreifke, M. B., Jayasuriya, A. A., & Jayasuriya, A. C. (2015). Current wound healing procedures and potential care. *Materials Science and Engineering: C*, 48, 651–662. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.12.068>
- Schulte, E., & Arlt, S. P. (2022). What kinds of dogs are used in clinical and experimental research? *Animals*, 12 (12), 1487. <https://doi.org/10.3390/ani12121487>
- Ward, S. (2022). Dog as the experimental model: Laboratory uses of dogs in the United States. *Altex*, 39 (4), 605–620. <https://doi.org/10.14573/altex.2109101>
- Akita, S. (2019). Wound repair and regeneration: mechanisms, signaling. *International Journal of Molecular Sciences*, 20 (24), 6328. <https://doi.org/10.3390/ijms20246328>
- Kremer, J. M. (2000). n-3 Fatty acid supplements in rheumatoid arthritis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 71 (1), 349S–351S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.1.349S>
- McDaniel, J. C., Belury, M., Ahijevych, K., & Blakely, W. (2008). Omega-3 fatty acids effect on wound healing. *Wound Repair and Regeneration*, 16 (3), 337–345. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2008.00388.x>
- Aguilar-Toalá, J. E., García-Varela, R., García, H. S., Mata-Haro, V., González-Córdova, A. F., Vallejo-Cordoba, B., & Hernández-Mendoza, A. (2018). Postbiotics: An evolving term within the functional foods field. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.009>
- García-Vicente, E. J., Rey-Casero, I., Martín, M., Pérez, A., Benito-Murcia, M., & Risco, D. (2024). Oral supplementation with postbiotics modulates the immune response produced by myxomatosis vaccination in wild rabbits. *Vaccine*, 42 (20), 125978. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2024.05.026>
- Wang, P., Wang, S., Wang, D., Li, Y., Yip, R. C. S., & Chen, H. (2024). Postbiotics-peptidoglycan, lipoteichoic acid, exopolysaccharides, surface layer protein and pili proteins-Structure, activity in wounds and their delivery systems. *International Journal of Biological Macromolecules*, 274, 133195. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.133195>
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M. M., Sanders, M. E., Shamir, R., Swann, J. R., Szajewska, H., & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18 (9), 649–667. <https://doi.org/10.1038/s41575-021-00440-6>
- Eau Thermale Avène. (n.d.). *Cicalfate⁺: Innovation in postbiotic skincare* [Product brochure]. https://www.avenederm.com/media/marketing/assets/Cicalfate_Sell_Sheet_Cream_Scar_Gel_Hand_Lips.pdf
- Ribet, V., Mielewczyk, E., Sirvent, A., Georgescu, V., & Rossi, A. B. (2018). A novel dermo-cosmetic product containing thermal spring water, sucalfate, copper sulfate, and zinc sulfate in the management of hand eczema. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 11, 373–381. <https://doi.org/10.2147/ccid.s157849>
- Hargis, A. M., & Lewis, T. P. (1999). Full-thickness cutaneous burn in black-haired skin on the dorsum of the body of a Dalmatian puppy. *Veterinary Dermatology*, 10 (1), 39–42. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3164.1999.00109.x>
- Hameed, F. M. (2020). Effect of Omega-3 on induced cutaneous wounds healing in rabbits. *Medico Legal Update*, 20 (3), 1316–1320. <https://doi.org/10.37506/mlu.v20i3.1583>
- Luna, L. G. (1992). *Histopathologic methods and color atlas of special stains and tissue artifacts*. American Histolabs.
- Singer, A. J., & Clark, R. A. F. (1999). Cutaneous wound healing. *New England Journal of Medicine*, 341 (10), 738–746. <https://doi.org/10.1056/nejm199909023411006>
- Proksch, E., Brandner, J. M., & Jensen, J.-M. (2008). The skin: an indispensable barrier. *Experimental Dermatology*, 17 (12), 1063–1072. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0625.2008.00786.x>
- Lansdown, A. B. G., Mirastschijski, U., Stubbs, N., Scanlon, E., & Ågren, M. S. (2007). Zinc in wound healing: Theoretical, experimental, and clinical aspects. *Wound Repair and Regeneration*, 15 (1), 2–16. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2006.00179.x>
- Prajapati, S. K., Lekkala, L., Yadav, D., Jain, S., & Yadav, H. (2025). Microbiome and postbiotics in skin health. *Biomedicine*, 13 (4), 791. <https://doi.org/10.3390/biomedicine13040791>
- Calder, P. C. (2010). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes. *Nutrients*, 2 (3), 355–374. <https://doi.org/10.3390/nu2030355>
- Elias, P. M. (2005). Stratum corneum defensive functions: An Integrated view. *Journal of Investigative Dermatology*, 125 (2), 183–200. <https://doi.org/10.1111/j.0022-202x.2005.23668.x>
- Martin, P. (1997). Wound healing-aiming for perfect skin regeneration. *Science*, 276 (5309), 75–81. <https://doi.org/10.1126/science.276.5309.75>

29. Alexander, J. W., & Supp, D. M. (2014). Role of arginine and Omega-3 fatty acids in wound healing and infection. *Advances in Wound Care*, 3 (11), 682–690.
<https://doi.org/10.1089/wound.2013.0469>
30. Tonnesen, M. G., Feng, X., & Clark, R. A. F. (2000). Angiogenesis in wound healing. *Journal of Investigative Dermatology Symposium Proceedings*, 5 (1), 40–46.
<https://doi.org/10.1046/j.1087-0024.2000.00014.x>
31. Broughton, G., Janis, J. E., & Attinger, C. E. (2006). The basic science of wound healing. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 117 (7 S), 12S–34S.
<https://doi.org/10.1097/01.prs.0000225430.42531.c2>
32. Falanga, V. (2005). Wound healing and its impairment in the diabetic foot. *The Lancet*, 366 (9498), 1736–1743.
[https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(05\)67700-8](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(05)67700-8)
33. Mescher, A. L. (2010). *Junqueira's basic histology: Text & atlas* (12th ed.). McGraw-Hill Medical.

ORCID

H. N. Alkhalissi 

<https://orcid.org/0000-0003-4905-6235>



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

The effect of citrate Se on the biochemical parameters of rabbit blood

O. Prodanchuk✉

Article info

Correspondence Author
O. Prodanchuk
E-mail:
olga271098@gmail.comStepan Gzhytskyi National
University of Veterinary
Medicine and
Biotechnologies,
50, Pekarska str., Lviv,
79010, Ukraine**Citation:** Prodanchuk, O. (2026). The effect of citrate Se on the biochemical parameters of rabbit blood. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 231–236. doi: 10.31210/spi2026.29.01.36

The research was conducted at a private rabbit farm on young rabbits of the Termon breed (Hylla). The rabbits were grouped according to similar characteristics (age, body weight, clinical condition) into groups of 5–6 animals, with an average body weight of 1,000–1,200 g. Selenium citrate was obtained from Nanomaterials and Nanotechnologies LLC, Kyiv. At 45 days of age, the animals were divided into four groups: a control group and three experimental groups. The rabbits in the control group were fed a standard pelleted feed and given unlimited access to water in accordance with current regulatory requirements for the feeding and housing of rabbits in commercial settings. The experimental group, in addition to and drinking water, received an aqueous solution of nanotechnology-based selenium citrate at a concentration of 50 µg Se/L throughout the day. Accordingly, the second experimental group received selenium citrate at a concentration of 100 µg Se/L; the third experimental group received selenium citrate at a concentration of 200 µg Se/L. During the experimental period (on days 15 and 30 of the study), daily monitoring was conducted to assess survival, growth rate, and development. Parameters of the platelet component of hemostasis (platelet count, mean platelet volume, hematocrit, platelet distribution width) and the antioxidant system (GPL, TBA-active products, SOD, catalase) in rabbit blood plasma were determined using standard methods. The administration of selenium citrate at concentrations of 50, 100, and 200 µg Se/L resulted in an increase in platelet parameters in the blood of the experimental groups of rabbits, accompanied by a decrease in lipid peroxidation products. The addition of selenium citrate to the rabbits' diet was associated with increased activity of antioxidant defense enzymes in their blood throughout the study period, with a statistically significant increase in catalase activity ($P<0.05$ – 0.001) in the blood of rabbits in the experimental groups on days 15 and 30 of the study and superoxide dismutase ($P<0.05$) in animals in the experimental groups on day 30 of the study. The inclusion of selenium citrate in the rabbits' diet contributed to a reduction in blood cholesterol levels: by day 15, cholesterol levels in animals from experimental groups II and III were 1.6 and 1.4 times lower, respectively ($P<0.05$), and on day 30 – by 22.8 % and 30.1 % ($P<0.05$) compared to the control group.

Keywords: selenium, rabbits, nanotechnology, catalase, superoxide dismutase, lipid hydroperoxides, malondialdehyde (MDA) products.

Вплив цитрату Se на біохімічні показники крові кролів

О. В. Проданчук

Львівський національний
університет ветеринарної
медицини та біотехнологій
імені С.З. Гжицького,
м. Львів, Україна

Дослідження проводили у приватному кролівничому господарстві на молодянку кролів термонської породи Нулла. Кролів формували за принципом аналогів (вік, маса тіла, клінічний стан) у групи по 5–6 тварин, середньою масою тіла 1000–1200 г. Селену цитрат отримали від ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології», м. Київ. У віці 45 днів тварин було поділено на чотири групи – контрольну та три дослідні. Кролі контрольної групи споживали стандартний гранульований комбікорм і воду без обмеження відповідно до чинних нормативних вимог щодо годівлі та утримання кролів у виробничих умовах. І дослідна група, крім стандартного комбікорму з питною водою впродовж доби отримувала водний розчин нанотехнологічного селену цитрату у кількості – 50 мкг Se/л. Відповідно, II дослідна – селену цитрату з розрахунку – 100 мкг Se/л; III дослідна – селену цитрату – 200 мкг Se/л. У дослідний період (15-та і 30-та добу дослідження) проводився щоденний контроль за збереженістю, інтенсивністю росту і розвитку. Показники тромбоцитарної ланки гемостазу (кількість тромбоцитів, середній об'єм тромбоцитів, тромбокрит, ширина розподілу тромбоцитів) та антиоксидантної системи (ГПЛ, ТБК-активні продукти, СОД, каталаза) у плазмі крові кролів визначали за загальноприйнятими методиками. Випоювання цитрату селену у концентраціях 50, 100 та 200 мкг Se/л спричинило підвищення тромбоцитарних показників у крові дослідних груп кролів на тлі зменшення продуктів перекисного окиснення ліпідів. Уведення до раціону кролів цитрату селену характеризувалося підвищенням активності ферментів антиоксидантного захисту у їх крові впродовж усього періоду дослідження з вірогідним збільшенням активності каталази ($P<0.05$ – 0.001) у крові кролів дослідних груп на 15 та 30 доби дослідження та супероксиддисмутази ($P<0.05$) у тварин дослідних груп на 30 добу дослідження. Застосування цитрату селену у раціоні кролів сприяло зниженню рівня холестеролу в крові: на 15-ту добу його вміст у тварин II та III дослідних груп був відповідно у 1,6 та 1,4 раза нижчим ($P<0.05$), а на 30-ту добу – на 22,8 % та 30,1 % ($P<0.05$) порівняно з контролем.

Ключові слова: селен, кролі, нанотехнології, каталаза, супероксиддисмутаза, гідропероксиди ліпідів, ТБК-активні продукти.



Бібліографічний опис для цитування: Проданчук О. В. Вплив цитрату Se на біохімічні показники крові кролів. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 231–236.

Вступ

На сучасному етапі розвитку кролівництва важливим напрямом є науково обґрунтоване використання добавок, що забезпечують підвищення продуктивності тварин завдяки поповненню дефіциту есенціальних мінеральних елементів [1, 7, 17].

Актуальною залишається проблема пошуку нових біологічно активних добавок, що зменшували б негативний вплив різних стрес-факторів, а також здатні підвищувати активність ензимів системи антиоксидантного захисту й знижувати інтенсивність пероксидативних процесів в організмі кролів [23]. Доцільним є проведення експериментальних досліджень ефективності використання добавок, що містять цитрати мікроелементів та характеризуються високою біодоступністю.

Основними джерелами додаткового забезпечення мікроелементами раціонів сільськогосподарських тварин є їхні солі. Життєво необхідні мікроелементи функціонують як структурні компоненти органічних молекул. Так, Fe входить до складу гемоглобіну та цитохрому, а I – тироксину. Cu, Se, Zn виконують роль важливих кофакторів ферментативних систем. За умов дефіциту будь-якого з цих елементів у раціоні тварин знижується функціональна активність відповідних органічних сполук [11]. Слід зазначити, що між різними джерелами органічних мікроелементів, що застосовуються у годівлі, існують суттєві хімічні, структурні та біодоступні відмінності, які визначають їхню ефективність у забезпеченні фізіологічних потреб організму.

Застосування селеновмісних препаратів у ряді регіонів України зумовлене природним дефіцитом цього мікроелемента у ґрунтах та кормах, що призводить до недостатнього біологічного забезпечення тварин.

Дефіцит селену в раціоні сільськогосподарських тварин зумовлює розвиток низки патологічних станів і дисфункцій. Зокрема, у телят і ягнят виникає білом'язова хвороба, у поросят – дегенеративні процеси в скелетних м'язах, у курчат – ексудативний діатез та панкреатичний фіброз [4, 9]. Патогенетичною основою цих порушень є зниження активності антиоксидантної системи організму, що спричиняє посилення процесів перекисного окиснення ліпідів [2, 14]. Продукти цього процесу (вільні радикали, альдегіди, кетони) спричиняють деструктивний вплив на клітинні структури, зокрема мембрани, білки, нуклеїнові кислоти та ліпіди [3]. У дорослих тварин і птиці дефіцит селену призводить до порушення обміну речовин, зниження репродуктивної функції та імунного захисту, а також до зниження продуктивності.

Селен входить до складу ферментів антиоксидантного захисту організму, зокрема глутатіонпероксидази [2, 4]. Біологічна роль цього ферменту полягає у протидії окислювальному стресу шляхом каталізу відновлення перекису водню та гідроперексидів ліпідів. Антиоксидантна дія селену зумовлена включенням до активного центру селен-залежної глутатіонпероксидази. Se-цистеїн та Se-метіонін, як селеновмісні амінокислоти, зв'язують вільні

радикали та беруть участь в нерадикальному розщепленні ліпідних пероксидів.

Окрім цього, селен регулює метаболізм вітамінів А, С, Е та К [9, 14]. Дефіцит цього елемента в раціоні може негативно позначатися на перетворенні α -ліноленової кислоти (ALA) в ейкозапентаєнову (EPA) та докозагексаєнову (DHA), що призводить до порушення співвідношення жирних кислот (n-6/n-3) у складі ліпідів клітинних мембран. Додавання селену до кормів тварин сприяє модифікації профілю жирних кислот у м'язовій тканині, що має важливе значення для оптимізації метаболічних процесів і підвищення біологічної цінності продукції [12].

Якщо механізми впливу на організм ВРХ та свиней достатньо вивчені й описані в літературі, то щодо кролів наявні дані є обмеженими. Це зумовлює потребу в поглиблених дослідженнях, спрямованих на з'ясування особливостей метаболічних і фізіологічних реакцій організму кролів за умов впливу нанотехнологічного селену цитрату.

Мета дослідження

Мета роботи – встановити вплив застосування нанотехнологічного селену цитрату на біохімічні показники крові молодняка кролів.

Завдання дослідження.

1. Проаналізувати літературні джерела щодо біологічної ролі селену та його впливу на антиоксидантну систему організму.
2. Дослідити зміни біохімічних показників крові під впливом нанотехнологічного селену цитрату у різних концентраціях.
3. Порівняти отримані результати між контрольними та дослідними групами та оцінити ефективність застосування нанотехнологічного селену цитрату для корекції окислювального стресу у кролів.

Матеріали і методи

Дослідження проводили у приватному кролівничому господарстві на молодняку кролів термонської породи Nylla. Тварин утримували в приміщенні з регульованим мікрокліматом, освітленням, у сітчастих клітках розміром 50×120×30 см відповідно до чинних ветеринарно-санітарних норм.

Кролів формували за принципом аналогів (вік, маса тіла, клінічний стан) у групи по 5–6 тварин із середньою масою тіла 1000–1200 г. Селену цитрат отримали від ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології», м. Київ [15].

У віці 45 діб тварин було поділено на чотири групи – контрольну та три дослідні. Кролі контрольної групи споживали стандартний гранульований комбікорм і воду без обмеження відповідно до чинних нормативних вимог щодо годівлі та утримання у виробничих умовах. I дослідна група, крім питної води, впродовж доби отримувала водний розчин нанотехнологічного селену цитрату у кількості 50 мкг Se/л. Відповідно, II дослідна – селену цитрату з розрахунку – 100 мкг Se/л; III дослідна – селену цитрату – 200 мкг Se/л. У дослідний період

(15-та і 30-та добу дослідження) проводився щоденний контроль за збереженістю, інтенсивністю росту і розвитку. Кров від кролів відбирали з крайової вушної вени шляхом проколу одноразовою голкою у стерильний шприц. Місце відбору крові було оброблено спиртом та розчином димексиду для місцевої гіперемії.

Показники тромбоцитарної ланки гемостазу (кількість тромбоцитів, середній об'єм тромбоцитів, тромбокрит, ширина розподілу тромбоцитів) та антиоксидантної системи (ГПЛ, ТБК-активні продукти, СОД, каталаза) у плазмі крові кролів визначали за загальноприйнятими методиками [24].

Статистичний аналіз одержаних цифрових даних проводили за допомогою програми Statystika для Windows XP [16]. Після порівняння досліджуваних показників та їхніх міжгрупових різниць використовували t-критерій Стюдента, а результат вважали вірогідним після $P < 0,05$.

Результати та їх обговорення

В організмі ссавців тромбоцити відіграють надзвичайно важливу роль як за фізіологічної норми, так і при патології. В неактивному стані вони мають форму пластинок (плакоїдні клітини), що постійно

циркулюють у крові й виконують ангіотрофічну функцію – підтримують нормальну структуру і функцію судин, їх стійкість до пошкоджуючих чинників, непроникність стосовно еритроцитів, підтримують спазм пошкоджених судин, закупорюють пошкоджені судини шляхом утворення первинної гемостатичної пробки із маси агрегованих тромбоцитів, а також беруть участь у процесах коагуляції, експонують тромбогенну фосфоліпідну поверхню [20].

За результатами дослідження відзначено зміни рівня тромбоцитів, середнього об'єму тромбоцитів, тромбокриту та відносної ширини розподілу тромбоцитів за об'ємом впродовж 30 діб дослідження (табл. 1). На 15 добу кількість тромбоцитів у дослідних групах була вищою порівняно з контролем (Д-I – 4,2% ; Д-II – 6,4% ; Д-III – 11,5%). На 30-ту добу тенденція зберігалася, проте різниці не були статистично вірогідні.

Порушення окремих функцій тромбоцитів зумовлює дисбаланс у системі гемостазу організму. Тромбоцити відіграють ключову роль у формуванні резистентності, оскільки першими реагують на інфекцію. Унаслідок цього утворюються специфічні антитіла, що зв'язуються з поверхнею антигену, формуючи комплекс «антиген-антитіло» [21].

Таблиця 1

Показники тромбоцитарної ланки гемостазу кролів за дії нанотехнологічного селену цитрату ($M \pm m$, $n=5$)

Показник	Група	Періоди досліджень		
		підготовчий, 45 доба життя	дослідний (доба життя /період вивчення добавок)	
			60/15	75/30
Тромбоцити, $10^9/\text{л}$	К	431,8 $\pm$ 22,76	455,1 $\pm$ 10,53	462,2 $\pm$ 13,72
	Д – I	465,6 $\pm$ 14,53	474,8 $\pm$ 31,20	471,8 $\pm$ 26,97
	Д – II	478,0 $\pm$ 15,28	484,8 $\pm$ 12,84	486,0 $\pm$ 40,07
	Д – III	485,6 $\pm$ 20,67	507,4 $\pm$ 33,15	498,0 $\pm$ 15,75
Середній об'єм тромбоцита, фл	К	4,90 $\pm$ 0,10	5,01 $\pm$ 0,06	5,34 $\pm$ 0,04
	Д – I	5,02 $\pm$ 0,06	5,16 $\pm$ 0,13	5,52 $\pm$ 0,09
	Д – II	5,07 $\pm$ 0,06	5,18 $\pm$ 0,09	5,47 $\pm$ 0,13
	Д – III	5,24 $\pm$ 0,12	5,20 $\pm$ 0,09	5,64 $\pm$ 0,08
Тромбокрит, %	К	0,213 $\pm$ 0,013	0,207 $\pm$ 0,026	0,260 $\pm$ 0,014
	Д – I	0,219 $\pm$ 0,026	0,242 $\pm$ 0,009	0,282 $\pm$ 0,008
	Д – II	0,233 $\pm$ 0,004	0,262 $\pm$ 0,003	0,289 $\pm$ 0,007
	Д – III	0,252 $\pm$ 0,014	0,266 $\pm$ 0,004*	0,294 $\pm$ 0,004
Ширина розподілу тромбоцитів за об'ємом, %	К	12,90 $\pm$ 0,62	13,56 $\pm$ 0,33	14,20 $\pm$ 0,46
	Д – I	13,72 $\pm$ 0,21	14,25 $\pm$ 0,10	14,87 $\pm$ 0,38
	Д – II	13,90 $\pm$ 0,13	14,38 $\pm$ 0,15	15,20 $\pm$ 0,17
	Д – III	14,10 $\pm$ 0,07	14,45 $\pm$ 0,22	15,33 $\pm$ 0,19*

Примітка: * $P < 0,05$ – вірогідні різниці показників дослідних груп порівняно з контрольною групою.

Суттєвих змін між групами кролів за показником середнього об'єму тромбоцитів упродовж дослідження не виявлено. Встановлено, що середній обсяг тромбоцитів на 15 добу дослідження був вищим у всіх дослідних групах в середньому у 1,03 рази порівняно до контролю. На 30-ту добу дослідження найвищий рівень середнього об'єму тромбоцита спостерігали у ДIII групі (5,64 $\pm$ 0,08) порівняно з контрольною групою (5,34 $\pm$ 0,04). Середній об'єм тромбоцитів відображає взаємозв'язок їхнього розміру з функціональною активністю, вмістом біологічно активних речовин у гранулах та схильністю до адгезії й змін перед агрегацією.

Тромбокрит як параметр клінічного аналізу крові відображає частку периферичної крові, яку займають

кров'яні пластинки – тромбоцити. Тромбоцитарні показники не виходили за межі фізіологічних значень, що вказує на відсутність порушень у механізмах гемостазу та імунної відповіді [20]. У кролів дослідних груп тромбокрит суттєво не змінювався протягом дослідного періоду. Проте, у тварин Д-III був вірогідно вищим на 28% ($P < 0,05$) порівняно до контролю. На 30-ту добу дослідження тромбокрит коливався в межах від 0,282 $\pm$ 0,008 % до 0,294 $\pm$ 0,004 % на тлі 0,260 $\pm$ 0,014 % у контрольній групі.

На 15-ту добу дослідження ширина розподілу тромбоцитів за об'ємом суттєво не змінювалася впродовж всього періоду досліджень у дослідних групах 14,25; 14,38; 14,45 %. Водночас, на 30 добу ширина розподілу тромбоцитів за об'ємом характери-

зувалася вищим рівнем у кролів Д-I та Д-II груп порівняно до контролю. Проте за результатами дослідження у Д-III спостерігали, що ширина розподілу тромбоцитів за об'ємом була вищою на 7,9 % порівняно з контролем.

Стан організму в цілому характеризує біохімічний склад крові, з якої надходять поживні речовини до

клітин багатьох тканин організму, а також життєво важливі мікроелементи. За результатами дослідження виявлено зміни показників системи антиоксидантного захисту в крові кролів після випоювання у різних кількостях цитрату селену спостерігали вірогідні різниці на 15-ту і 30-ту добу дослідження (табл. 2).

Таблиця 2

Активність основних ензимів антиоксидантного захисту та вміст продуктів перекисного окиснення ліпідів у плазмі крові ($M \pm m$, $n=5$)

Показник	Група	Періоди досліджень		
		підготовчий, 45 доба життя	дослідний (доба життя / період випоювання добавок)	
			60/15	75/30
Супероксиддисмутаза, од/мг протеїну	К	4,76±0,29	4,22±0,42	5,01±0,24
	Д – I	4,29±0,37	3,77±0,37	5,77±0,35
	Д – II	4,50±0,13	4,81±0,10	6,01±0,36*
	Д – III	4,10±0,12	4,71±0,09	6,52±0,34*
Каталаза, ммоль/хв·мг протеїну	К	3,89±0,22	3,63±0,26	3,59±0,15
	Д – I	3,93±0,44	5,04±0,39*	4,70±0,37*
	Д – II	4,26±0,28	5,60±0,42**	4,90±0,29**
	Д – III	4,68±0,31	5,78±0,05***	5,30±0,25***
Гідроперокси ліпідів, Од Е/мл	К	2,31±0,02	1,62±0,08	2,13±0,03
	Д – I	2,54±0,11	1,22±0,03**	1,65±0,09***
	Д – II	2,37±0,04	1,14±0,03***	1,42±0,10***
	Д – III	2,22±0,06	1,29±0,04**	1,50±0,05***
ТБК-активні продукти, нмоль/мл	К	1,89±0,05	1,56±0,08	1,25±0,17
	Д – I	1,82±0,05	1,11±0,06**	0,76±0,03*
	Д – II	1,86±0,05	1,38±0,05	0,62±0,02**
	Д – III	1,73±0,03	1,23±0,05*	0,71±0,07*

Примітки: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$ – вірогідні різниці показників дослідних груп порівняно з контрольною групою.

Для перебігу біохімічних процесів метаболізму в організмі кролів важливе значення має каталаза. Відомо, що до антиоксидантних ферментів, які одними з перших забезпечують захист від впливу вільних радикалів, здатність окиснювати низькомолекулярні спирти і нітроти та брати участь у процесах клітинного дихання належить каталазі [22]. Синтез каталази, так само як інших пероксисомних ферментів, здійснюється на вільних полісомах із подальшим посттрансляційним механізмом перенесення ферментів усередину пероксисом. Здебільшого концентрація каталази регулюється залежно від метаболічних потреб клітини. Рівень каталази пов'язаний з кисневим метаболізмом [8, 18].

У крові кролів II і III дослідних груп активність супероксиддисмутази на 15 добу дослідження була дещо вищою порівняно до контролю (табл. 2). На 30 добу дослідження відзначено вірогідно вищу активність супероксиддисмутази в крові кролів II і III дослідних груп відповідно на 20,0 і 30,1 % порівняно з контрольною групою. Це може вказувати про позитивний вплив випоювання органічної сполуки селену на активність антиоксидантних ферментів у їх крові, особливо супероксиддисмутази, що захищає мембрани клітин організму від ушкоджуючої дії вільних радикалів і є одним з основних елементів антиоксидантної системи в організмі тварин [10].

Дослідження активності каталази в плазмі крові кролів за випоювання різної концентрації цитрату селену найвищі значення встановлено на 15-ту добу дослідження. Рівень каталази характеризувався вірогідно вищими (1,4–1,6 раза; $P < 0,05–0,001$) показниками активності в крові кролів I, II та III дослідних

груп порівняно з контролем. На 30-ту добу дослідження за випоювання селену цитрату встановлено підвищення активності каталази на 30,9 % ($P < 0,05$), 36,5 % ($P < 0,01$) та 47,6 % ($P < 0,05$) відповідно у I, II і III дослідних групах порівняно до контролю, що свідчить про активацію антиоксидантної системи організму та посилення його захисних механізмів.

Продукти перекисного окиснення деформують мембрани клітин, порушують їхню осмотичну резистентність і електричний потенціал, окислюють тіолові сполуки та SH-групи білків мембран. Утворення продуктів перекисного окиснення ліпідів контролюється системою антиоксидантного захисту, яка не тільки запобігає розвитку вільнорадикальних реакцій, утворенню супероксид-аніона та пероксидів, а й підтримує високу активність окисно-відновних процесів, забезпечує елімінацію кінцевих кисневих метаболітів із залученням їх до енергетичного обміну та активації процесів синтезу [6, 8].

Випоювання цитрату селену тваринам дослідних груп супроводжувалося зменшенням процесів пероксидації ліпідів в їхній крові порівняно з контролем. Зокрема, у крові кролів дослідних груп порівняно з контрольною спостерігали вірогідне зменшення вмісту гідропероксидів ліпідів на 15-ту та 30-ту добу дослідження. Зокрема, на 30-ту добу дослідження вміст ГПЛ у крові тварин дослідних груп був нижчим на 22–32 % ($P < 0,05–0,001$) порівняно з контролем.

Вміст ТБК-активних продуктів, що є кінцевим метаболітом перекисного окиснення ліпідів, характеризувався більш вираженими змінами за умов впливу застосованих добавок цитрату селену і був вірогідно

меншим у крові тварин дослідних груп порівняно з контрольною протягом випоювання.

Характерно, що рівень ТБК-активних продуктів у крові кролів І групи був вірогідно нижчим у 1,4 ($P<0,01$) та 1,6 ($P<0,05$) рази відповідно на 15-ту та 30-ту добу дослідження порівняно з контрольною групою. У крові тварин дослідних груп цей показник вірогідно зменшувався на першому і другому етапах дослідження відповідно у II – 1,1 та 2,0 ($P<0,01$) рази, у III – 1,2 ($P<0,05$) та 1,8 ($P<0,05$) рази порівняно з аналогічними показниками тварин контрольної групи.

Холестерол та триацилгліцероли належать до показників ліпідного обміну в організмі тварин.

Таблиця 3

Вміст триацилгліцеролів та холестеролу в плазмі крові кролів за дії нанотехнологічного селену цитрату ($M\pm m, n=5$)

Показник	Група	Періоди досліджень		
		підготовчий, 45 доба життя	дослідний (доба життя /період випоювання добавок)	
			60/15	75/30
Холестерол, ммоль/л	К	1,33 $\pm$ 0,16	1,29 $\pm$ 0,13	1,23 $\pm$ 0,08
	Д – І	1,48 $\pm$ 0,20	1,01 $\pm$ 0,15	1,15 $\pm$ 0,05
	Д – II	1,69 $\pm$ 0,11	0,78 $\pm$ 0,13*	0,95 $\pm$ 0,04
	Д – III	1,11 $\pm$ 0,07	0,94 $\pm$ 0,08*	0,85 $\pm$ 0,13*
Триацилгліцероли, ммоль/л	К	0,75 $\pm$ 0,12	1,82 $\pm$ 0,23	1,55 $\pm$ 0,23
	Д – І	0,63 $\pm$ 0,09	1,18 $\pm$ 0,09	0,84 $\pm$ 0,14*
	Д – II	0,99 $\pm$ 0,10	1,51 $\pm$ 0,19	0,89 $\pm$ 0,04*
	Д – III	0,85 $\pm$ 0,05	1,28 $\pm$ 0,09	0,91 $\pm$ 0,08*

Примітка: * $P < 0,05$ – вірогідні різниці показників дослідних груп порівняно з контрольною групою.

На 30-ту добу дослідження в плазмі крові тварин II і III дослідних груп його рівень був відповідно нижчим на 22,8 та 30,1 % ($P < 0,05$) порівняно з контролем, що свідчить про більше використання у їх організмі холестеролу за впливу селену цитрату.

За результатами дослідження встановлено, що вміст триацилгліцеролів у плазмі крові кролів усіх дослідних груп був вірогідно нижчим на 30-ту добу дослідження порівняно з контролем. Отримані результати можуть свідчити про активацію процесів метаболічного нагромадження пластичних компонентів клітинних мембран та енергетичних потреб тканин організму, що було виражено більше за дії органічної сполуки селену.

Висновки

1. Випоювання цитрату селену у концентраціях 50, 100 та 200 мкг Se/л спричинило підвищення тромбоцитарних показників у крові дослідних груп кролів на тлі зменшення продуктів перекисного окиснення ліпідів.

2. На 30-ту добу застосування цитрату селену спостерігали тенденцію до підвищення кількості тромбоцитів та тромбокриту в крові кролів дослідних груп, однак ці зміни не досягали рівня статистичної вірогідності та залишалися в межах фізіологічних параметрів.

3. Уведення до раціону кролів цитрату селену характеризувалося підвищенням активності ферментів антиоксидантного захисту впродовж усього періоду дослідження з вірогідним збільшенням активності каталази ($P<0,05$ -0,001) у крові кролів

Холестерол, як структурний компонент плазматичних мембран клітин ссавців, слугує попередником у біосинтезі стероїдних гормонів, вітаміну D, оксистеролів і жовчних кислот. Триацилгліцероли становлять основну форму нейтральних жирів, що складаються з однієї молекули гліцеролу та трьох залишків вищих жирних кислот. Вони забезпечують депонування ліпідів і є ключовими резервуарами метаболічної енергії для організму [13, 19].

Застосування цитрату селену сприяло зменшенню вмісту холестеролу на 1,6 та 1,4 рази ($P<0,05$) відповідно у крові кролів II та III дослідної групи на 15-ту добу дослідження (табл. 3).

дослідних груп на 15 та 30 доби дослідження та супероксиддисмутази ($P<0,05$) на 30 добу.

4. Застосування цитрату селену у раціоні кролів сприяло зниженню рівня холестеролу в крові: на 15-ту добу його вміст у тварин II та III дослідних груп був відповідно у 1,6 та 1,4 рази нижчим ($P<0,05$), а на 30-ту добу – на 22,8 % та 30,1 % ($P<0,05$) порівняно з контролем.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що всі проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Клініко-експериментальна частина роботи виконана з суворим дотриманням вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV) [5], а також Директиви 2010/63/EU Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року про захист тварин, що використовуються для наукових цілей.

Забір крові з крайової вушної вени кролів виконували малоінвазивно, з дотриманням асептики та застосуванням місцевих засобів для покращення мікроциркуляції. Під час експерименту тваринам забезпечували належні умови утримання в індивідуальних клітках, збалансовану годівлю, якісний догляд та повну мінімізацію стресових і дискомфортних чинників.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автор заявляє, що не використовував штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Abdelsalam, M., & Fathi, M. (2023). Improving productivity in rabbits by using some natural feed additives under hot environmental conditions — A review. *Animal Bioscience*, 36 (4), 540–554. <https://doi.org/10.5713/ab.22.0354>
2. Banuelos, G. S., Lin, Z.-Q., & Caton, J. (2023). Editorial: Selenium in soil-plant-animal systems and its essential role for human health. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1237646. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1237646>
3. Chandimali, N., Bak, S. G., Park, E. H., Lim, H.-J., Won, Y.-S., Kim, E.-K., Park, S.-I., & Lee, S. J. (2025). Free radicals and their impact on health and antioxidant defenses: a review. *Cell Death Discovery*, 11 (1), 19. <https://doi.org/10.1038/s41420-024-02278-8>
4. Drutel, A., Archambeaud, F., & Caron, P. (2013). Selenium and the thyroid gland: more good news for clinicians. *Clinical Endocrinology*, 78 (2), 155–164. <https://doi.org/10.1111/cen.12066>
5. Pro zakhyst tvarny vid zhorstokoho povodzhennia [On the protection of animals from cruelty]: Zakon Ukrainy No. 3447-IV. (2006). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy*, (27), Art. 230. [in Ukrainian]
6. Fedoruk, R. S., Tesarivska, U. I., Kovalchuk, I. I., Tsap, M. M., Kaplunenko, V. H., Koleschuk, O. I., & Khrabko, M. I. (2021). Biological effects of iodine, selenium, sulfur citrates in broiler chickens. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12 (3), 523–530. <https://doi.org/10.15421/022172>
7. Hashem, N. M., Abd El-Hady, A. M., & Hassan, O. A. (2017). Inclusion of phytochemical feed additives comparable to vitamin E in diet of growing rabbits: Effects on metabolism and growth. *Annals of Agricultural Sciences*, 62 (2), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.aos.2017.11.003>
8. Iskra, R. Ya. (2012). Funktsionalnyi stan systemy antyoksydantnoho zakhystu v pechintsi ta skeletnykh miazakh kroliv za dii riznykh doz khromu [Functional state of the antioxidant defense system in the liver and skeletal muscles of rabbits under the action of different doses of chromium]. *Visnyk Kyivskoho Natsionalnoho Universytetu Imeni Tarasa Shevchenka. Biologiya*, 60, 4–6. [in Ukrainian]
9. Duntas, L. H. (2010). Selenium and the thyroid: A close-knit connection. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 95 (12), 5180–5188. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-0191>
10. Lesyk, Ya. V., Fedoruk, R. S., & Kropyvka, S. I. (2012). Hematologichni pokaznyky ta antyoksydantnyi status orhanizmu kroliv za vypoivannia tsytratu i khloridu khromu [Hematological parameters and antioxidant status of the rabbit body under the influence of chromium citrate and chloride]. *Biologiya Tvaryn*, 14 (1–2), 141–149. [in Ukrainian]
11. López-Alonso, M., Rivas, I., & Miranda, M. (2025). Trace mineral imbalances in global health: Challenges, biomarkers, and the role of serum analysis. *Nutrients*, 17 (13), 2241. <https://doi.org/10.3390/nu17132241>
12. Moustafa, K.-E. M. El., EL-Hosseiny, H. M., Shaheen, G. F., El-Kotamy, E. M., Ghoniem, A. E., Younan, G. E., El-Nahrawy, M. M., Farag, M. E., & Mohamed, M. S. (2024). Impact of different forms of selenium supplementation on growth and physiological performance of New Zealand white rabbits. *Tropical Animal Health and Production*, 56 (4), 131. <https://doi.org/10.1007/s11250-024-03970-8>
13. Oguro, H. (2019). The roles of cholesterol and its metabolites in normal and malignant hematopoiesis. *Frontiers in Endocrinology*, 10, 204. <https://doi.org/10.3389/fendo.2019.00204>
14. Palazzetti, S., Rousseau, A.-S., Richard, M.-J., Favier, A., & Margaritis, I. (2004). Antioxidant supplementation preserves antioxidant response in physical training and low antioxidant intake. *British Journal of Nutrition*, 91 (1), 91–100. <https://doi.org/10.1079/bjn20031027>
15. Kosinov, M. V., & Kaplunenko, V. H. (2009). *Sposib otrymannia karboksylativ metaliv. Nanotekhnologiya otrymannia karboksylativ metaliv* [Method for obtaining metal carboxylates. Nanotechnology for obtaining metal carboxylates] (Ukrainian Patent No. 38391). State Intellectual Property Service of Ukraine. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/276279/> [in Ukrainian]
16. Petrovska, I., Salyha, Yu., & Vudmaska, I. (2022). *Statystychni metody v biolohichnykh doslidzhenniakh* [Statistical methods in biological research]. Ahrarna Nauka. [in Ukrainian]
17. Placha, I., Pogány Simonová, M., & Lauková, A. (2022). Natural feed additives and novel approaches for healthy rabbit breeding. *Animals*, 12 (16), 2111. <https://doi.org/10.3390/ani12162111>
18. Popoiu, S., Teodoru, A.-M., Levandovschi, N., & Coman, C. (2021). Hematological and biochemical dynamics of rabbits and guinea pigs used for scientific purposes at Cantacuzino Institute, Bucharest. *Revista Română de Medicină Veterinară*, 31 (2), 69–80.
19. Postoi, R. V., Karpovskiy, V. I., & Postoi, V. V. (2019). Cholesterol and triacylglycerols content in blood of dry sows depending on peculiarities of nervous system activity. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 15 (5), 138–147. <https://doi.org/10.31548/dopovidi2019.05.014>
20. Rublenko, M. V., & Andriievskiy, V. H. (2008). Ahrehatsiia trombotsytiv u sobak ta svynei u normi [Platelet aggregation in dogs and pigs in norm]. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, 2, 118–120. [in Ukrainian]
21. Sela-Culang, I., Kunik, V., & Ofra, Y. (2013). The structural basis of antibody-antigen recognition. *Frontiers in Immunology*, 4, 302. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2013.00302>
22. Serra, V., Castrica, M., Agradi, S., Curone, G., Vigo, D., Di Giancamillo, A., Modina, S. C., Riva, F., Balzaretto, C. M., De Bellis, R., Brecchia, G., & Pastorelli, G. (2023). Antioxidant activity of different tissues from rabbits fed dietary bovine colostrum supplementation. *Animals*, 13 (5), 850. <https://doi.org/10.3390/ani13050850>
23. Skowron, M., Zalejska-Fiolk, J., Blaszczyk, U., Chwalińska, E., Owczarek, A., & Birkner, E. (2018). Antioxidant enzyme activities in rabbits under oxidative stress induced by high fat diet. *Journal of Veterinary Research*, 62 (2), 199–205. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2018-0019>
24. Vlizlo, V. V., Fedoruk, R. S., & Ratych, I. B. (2012). *Laboratorni metody doslidzen u biolohii, tvarynytsi ta veterynarii medytsyni* [Laboratory research methods in biology, animal husbandry and veterinary medicine]. Spolom. [in Ukrainian]

ORCID

O. Prodanchuk 

<https://orcid.org/0009-0006-6564-2938>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Cryptorchidism in dogs and cats: Prevalence, diagnosis, and treatment

T. Panasova  | B. Kyrychko | S. Kulynych | K. Shepel

Article info

Correspondence Author

T. Panasova

E-mail:

tetiana.panasova@pdau.edu.ua

Poltava State Agrarian

University,

Skovoroda Str., 1/3, Poltava,

36000, Ukraine

Citation: Panasova, T., Kyrychko, B., Kulynych, S., & Shepel, K. (2026). Cryptorchidism in dogs and cats: Prevalence, diagnosis, and treatment. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 237–243. doi: 10.31210/spi2026.29.01.37

Cryptorchidism is a spread hereditary pathology of dogs and cats, which is characterized by inability of one or both testicles to hang low into the gate, causes the sterility of males, upsetting the behavior, and increases the risk of developing testicles' neoplasia and torsion of testicular cord. The purpose of the study was to establish the spreading of cryptorchidism among dogs and cats, improve the pathology diagnostics, and optimize the tactics of surgical treatment of animals suffering from cryptorchidism. The work was conducted in training scientific and production clinic of veterinary medicine at Poltava State Agrarian University. The diagnostics was carried out by the complex method including clinical examination, palpation, ultrasound examination of the inguinal canal and abdominal cavity, and if necessary, determining the concentration of testosterone in the blood serum by the method of immune-enzyme analysis and diagnostic laparotomy. The treatment of animals was conducted by orchidectomy, in particular, with the use of median laparotomy in case of the abdominal form of the pathology. It was found that during 2023–2025, cryptorchidism was registered in 0.65 % ($p \leq 0.05$) of all dog diseases and 0.63 % ($p \leq 0.05$) among cats with the tendency to the annual growth of the disease indicator. The pathology was more often revealed in young dogs aged from 5 months to 3 years of small-size breeds (Pomeranians – 20 %, toy-terriers, chihuahua and Maltese lap-dogs – 13.3 % in each), and in cats aged about 1 year (British – 26 %, Scottish Fold – 26 %, Scottish Straight – 20 %). Unilateral cryptorchidism (73.3 %) predominated in dogs with mainly right-side inguinal localization of testicles (46.7 %), while bilateral form was found in 26.6 % of cases. Unilateral form also prevailed over bilateral in cats (73 % and 26.6 %, respectively) with the localization of the left testicle prescrotally (55 %) or in the inguinal canal (36.3 %). The level of testosterone in dogs in case of abdominal form made 2.13 nmol/l, which is lower than the norm, but higher than the indicator in castrated animals. A high diagnostic value of revealing androgen dependent keratinized spinules on the genital organ of cats was proven as a marker of cryptorchidism at the absence of testicles in the gate. Structural changes in the retarded glands were not found at sonographic and microscopic examinations; the cases of neoplasia or torsion of the cord were also not revealed. The practical value of the paper consists in substantiating the algorithm of early diagnostics and timely surgical testectomy of the retarded genital glands to prevent complications dangerous for the life of animals.

Keywords: dogs, cats, cryptorchidism, unilateral, bilateral, orchidectomy.

Крипторхізм у собак і котів: поширеність, діагностика, лікування

Т. Г. Панасова | Б. П. Киричко | С. М. Кулинич | К. Ю. Шепель

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Крипторхізм є поширеною спадковою вродженою патологією псів та котів, що характеризується нездатністю одного або обох сім'яників опуститися в калитку, обумовлює стерильність самців, порушення поведінки та підвищує ризик розвитку неоплазії тестикулів і перекручування сім'яного канатика. Метою досліджень було встановити поширеність крипторхізму серед собак і котів, удосконалити діагностику патології та оптимізувати тактику хірургічного лікування тварин-крипторхів. Роботу виконано на базі навчально-науково-виробничої клініки ветеринарної медицини Полтавського державного аграрного університету. Діагностику здійснювали комплексним методом, що включав клінічний огляд, пальпацію, ультразвукове дослідження пахового каналу та черевної порожнини, а за потреби – визначення концентрації тестостерону в сироватці крові методом імуноферментного аналізу та діагностичну лапаротомію. Лікування тварин проводили шляхом орхідектомії, зокрема із застосуванням медіанної лапаротомії при абдомінальній формі патології. Установлено, що протягом 2023–2025 рр. крипторхізм реєструвався у 0,65 % ($p \leq 0,05$) від усіх захворювань псів та у 0,63 % ($p \leq 0,05$) випадків серед котів із тенденцією до щорічного зростання показника захворюваності. Патологію частіше виявляли у молодих собак віком від 5 місяців до 3 років дрібних порід (померанці – 20 %, той-тер'єри, чіуахуа та мальтійські болонки – по 13,3 %) та у котів віком близько одного року (британська – 26 %, шотландська висловуха – 26 %, шотландська прямоуха – 20 %). У псів домінував односторонній крипторхізм (73,3 %) із переважно правобічною паховою локалізацією сім'яника (46,7 %), тоді як двосторонню форму відзначали у 26,6 % випадків. У котів одностороння форма також переважала над двосторонньою (73 % та 26,6 % відповідно) із розташуванням лівого сім'яника прескротально (55 %) чи в паховому каналі (36,3 %). Рівень тестостерону у пса за абдомінальної форми становив 2,13 нмоль/л, що є нижчим за норму, але вищим за показники кастрованих тварин. Доведено високу діагностичну цінність виявлення андрогензалежних кератинізованих шипиків на статевому члені котів як маркера крипторхізму за відсутності сім'яників у калитці. Сонографічно та макроскопічно структурних змін у затриманих залозах не виявлено, як і випадків неоплазії чи перекручування канатика. Практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні алгоритму ранньої діагностики та своєчасного хірургічного видалення затриманих статевих залоз для запобігання небезпечним для життя тварин ускладненням.

Ключові слова: пси, коти, крипторхізм, односторонній, двосторонній, орхідектомія.



Бібліографічний опис для цитування: Панасова Т. Г., Киричко Б. П., Кулинич С. М., Шепель К. Ю. Крипторхізм у собак і котів: поширеність, діагностика, лікування. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 237–243.

Вступ

Крипторхізм – це вроджена патологія, за якої один чи обидва сім'яники не опускаються у калитку під час внутрішньоутробного розвитку або в перші дні життя, залишаючись у черевній порожнині, паховому каналі або під шкірою. Нормальне опущення сім'яників завершується приблизно на 10-й день після народження у здорових цуценят собак, а у котів – ще до народження. Патологія частіше реєструється у псів (0,8–8,9 %) ніж у котів (0,07–3,30 %). Затриманий сім'яник у більшості випадків виявляють у паховій ділянці (61,29 % – у собак, 73,81 % – у котів), ніж у черевній порожнині, і частіше він локалізується односторонньо з правого боку як у псів, так і в котів. Двосторонній крипторхізм реєструється рідше (1,02 % від всіх випадків патології) [1].

Крипторхізм є спадковою патологією і передається як аутосомно-рецесивна ознака: ген, що відповідає за опущення сім'яників, є аутосомним, може бути присутнім як у самців, так і у самок та передається нащадкам від обох батьків [2]. Уражаються різні породи собак (той-тер'єр, карликовий пудель, чіхуахуа, боксер, йоркширський тер'єр) та котів (перська, турецька ангорська, домашня короткошерста) або особини відповідної лінії розведення [3]. Проте малі породи та дрібніші аналоги в межах породи, як правило, мають підвищений ризик розвитку крипторхізму, а за інбридингу частіше спостерігається двосторонній крипторхізм.

Під дією теплового стресу у крипторхідних сім'яниках порушується сперміогенез, що зумовлює стерильність [4]. Так, дослідниками виявлено у мікропрепаратах крипторхідного сім'яника значне зменшення кількості сперматогоній, сперматоцитів та сперматид [5]. Найбільш чутливими клітинами до теплового стресу є сперматоцити, адже підвищення температури генерує дволанцюгові розриви ДНК та асинапсис, що призводить до припинення мейозу, таким чином, клітини знищуються шляхом апоптозу [6]. Крім того, також спостерігається типовий синдром Сертолі, за якого тканини містять лише клітини з більшими ядрами, а також виявляється атрофія багатьох каналців, які повністю заміщені гіаліновими речовинами. Також авторами встановлено, що клітини Лейдіга крипторхідних сім'яників мали менший розмір і ознаки дегенерації, незважаючи на їхню велику кількість [7]. Крім того, розмір протоки придатка крипторхідних сім'яників менший, ніж у фізіологічно опущених.

Окрім порушення сперміогенезу, відбуваються зміни й гормональної функції сім'яників за крипторхізму: деякі автори згадують про зниження концентрації тестостерону [8], тоді як інші виявили її незмінною [9]. Часом, навпаки, відбувається активація синтезу стероїдів. У таких самців рівень тестостерону в крові підвищений, що викликає збудливість, іноді агресивність, підвищення лібідо, а також пригнічення сперміогенезу у колатеральному (протилежному) сім'янику [10].

За крипторхізму фізичний і статевий розвиток цуценят та кошенят перебігає нормально. При

односторонньому крипторхізмі фертильність частіше зберігається протягом першого року життя; за двостороннього – швидко розвиваються аспермія та стерильність [11]. Загалом крипторхізм як односторонній, так і двосторонній не має характерних клінічних ознак, проте він може стати причиною ряду патологій:

1. Порушення поведінки, що проявляється гіперсексуальністю, збудливістю, іноді агресивністю; зниження фертильності.

2. Після 6–7 років у псів виникає ризик неоплазії тестикулів. Так, частота неоплазії сім'яників при абдомінальному крипторхізмі у 13,6 раза вища, ніж при опущених сім'яниках [12, 13].

3. Збільшується ризик перекручування сім'яного канатика. Так, сім'яники, затримані в черевній порожнині, рухливіші, ніж ті, що знаходяться у калитці, і тому вони більш схильні до перекручування або защемлення петлями тонкого кишечника, що може спричинити кишкову непрохідність [14].

У котів випадки неоплазії та перекручування сім'яного канатика реєструють дуже рідко, проте самці демонструють «шлюбну» поведінку, розприскують сечу, яка має інтенсивний запах, характерний для самців. Тому лікування крипторхізму у котів проводять з метою усунення таких ознак [15].

Крипторхізм діагностують за допомогою клінічного огляду та пальпації. Так, за допомогою пальпації сім'яники можна виявити у калитці на 2–4 тижні, проте дослідження, зазвичай, проводять на 5–8 тижні; якщо при цьому тестикули відсутні у калитці, ставлять попередній діагноз – крипторхізм. Проте для псів доцільно провести повторне обстеження у віці 5–10 місяців, оскільки у самців великих порід собак опускання сім'яників затримується у зв'язку з активним ростом тварини. Крім того, як у псів, так і в котів до настання статевої зрілості статеві залози опускаються й знов виходять з калитки, вільно переміщуючись у паховому каналі, отже, сім'яники, що не пальпувалися у 4-місячному віці, можуть зайняти своє нормальне положення. Через це діагноз на крипторхізм у цьому віці часто не підтверджується до 5–7 місячного віку [16]. Якщо сім'яники не були виявлені клінічними дослідженнями, їх локалізацію визначають за допомогою сонографії [17].

При неможливості виявити сім'яник ні клінічними методами, ні ультразвуковою діагностикою, проводять гормональний тест, визначаючи концентрацію тестостерону в крові до і після ін'єкції хоріонічного гонадотропіну людини (ХГЛ) або гонадотропін-рилізінг-гормону (ГнРГ) [18].

Крипторхізм не піддається консервативному лікуванню. Спроби корекції крипторхізму за допомогою гормонального лікування неефективні. Використання агоністів ГнРГ або ХГЛ у препубертатних самців-крипторхів обговорюється критично, оскільки досі незрозуміло, чи впливають вони на опускання сім'яників, адже у самців інших видів тварин тестостерон бере участь лише у міграції тестисів з пахового кільця до калитки [19]. З іншого боку, дози тестостерону, що застосовуються, не є фізіологічними і можуть викликати ускладнення у вигляді захворювань

суглобів та зупинки росту. Орхіпексія вважається неетичною через спадкову природу захворювання, хоча одночасне проведення двосторонньої вазектомії може розглядатися як альтернатива кастрації псів з метою постійного виключення їх з розведення [20]. Тому методом вибору є орхідектомія. У випадках новоутворень сім'яників надається терапевтична підтримка, щоб уникнути погіршення стану [21, 22].

Рання діагностика крипторхізму у псів та котів дозволяє вилучити таких тварин з репродуктивного поголів'я та не витрачати час і зусилля на вирощування самців як майбутніх плідників. А раннє хірургічне втручання дозволить запобігти в них гормональному дисбалансу та ускладненням, загрозливим для їхнього життя [23].

Мета дослідження

Метою досліджень було встановити поширеність крипторхізму у собак та котів, провести діагностику патології та лікування самців-крипторхів.

Матеріали і методи

Робота виконувалася в навчально-науково-виробничій клініці ветеринарної медицини Полтавського державного аграрного університету. Об'єктом дослідження були пси та коти, яких власники доставили на плановий огляд або на кастрацію.

Крипторхізм діагностували шляхом огляду та пальпації, а локалізацію сім'яників визначали за допомогою ультразвукового дослідження пахового каналу та черевної порожнини. У разі неможливості виявити затримані сім'яники жодним із методів проводили визначення кількості тестостерону в крові методом ІФА та виконували діагностичну лапаротомію. Лікування самців проводили шляхом орхідектомії, а при абдомінальному крипторхізмі – після проведення медіанної лапаротомії.

Біометричний аналіз та статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою загальноприйнятих методів варіаційної статистики із використанням програмного забезпечення Microsoft Excel. Розраховували середні значення (М) та стандартну помилку середнього ($\pm m$). Вірогідність отриманих результатів оцінювали за критерієм Ст'юдента, вважаючи різницю статистично значущою при $p \leq 0,05$.

Результати та їх обговорення

Оглянувши 2325 псів протягом 2023–2025 років, ми встановили, що поширеність серед них крипторхізму становила у середньому $0,65 \pm 0,12\%$ ($p \leq 0,05$) від усіх захворювань псів, з майже однаковим коливанням в різні роки (табл. 1).

Під час зіставлення отриманих нами результатів із літературними джерелами виявлено, що наші дані стосовно поширення крипторхізму серед псів дещо різняться із даними інших дослідників (Gradil et al., 2023), які вказують на розповсюдження цієї патології у таких самців на рівні від 1,2 до 10 % [24].

Таблиця 1

Поширення крипторхізму серед псів

Роки	Усіх захворювань собак	Випадків патології, гол.	Випадків патології, %
2023	733	5	0,68
2024	800	6	0,75
2025	772	4	0,51

Частіше крипторхізм виявляли у молодих тварин віком від 5 місяців до 3 років, оскільки саме в цей період їх доставляли до клініки на плановий огляд та вакцинацію, а зрідка – на кастрацію. Значно рідше патологія була встановлена у тварин старшого віку – 5–7 років (рис. 1).

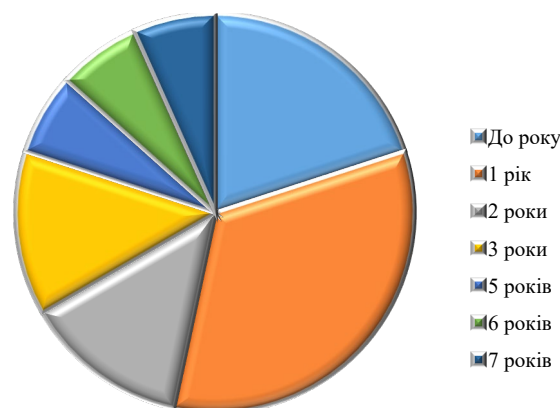


Рис. 1. Кількість випадків крипторхізму у псів різного віку

Аналіз структури захворюваності наочно демонструє, що переважна більшість випадків крипторхізму реєструється у молодих тварин. Найбільшу частку пацієнтів становлять пси віком 1 рік і тварини віком до року. Зі збільшенням віку кількість зареєстрованих випадків патології стрімко зменшується: вікові групи тварин 2- та 3-річного віку є значно меншими, а на вікові групи 5, 6 та 7 років припадають лише поодинокі випадки.

Під час вивчення поширеності крипторхізму серед різних порід собак встановлено, що патологія реєструвалася у псів дрібних та середніх порід (табл. 2).

Таблиця 2

Поширення крипторхізму серед різних порід собак

Породи собак	Кількість випадків, гол.	Кількість випадків, %
Померанець	3	20
Той-тер'єр	2	13,3
Чіхуахуа	2	13,3
Мальтійська болонка	2	13,3
Французький бульдог	1	6
Той-пудель	1	6
Такса гладкошерста	1	6
Йоркширський тер'єр	1	6
Бігль	1	6
Французька гонча	1	6
Усього	15	100

Найчастіше це були померанці, той-тер'єри, чіхуахуа та мальтійські болонки. Аномальне

опущення сім'яників у калитку у таких порід може бути пов'язане з їхніми малими розмірами, але з високою швидкістю росту в них статевих залоз та їхніх придатків. Схожа картина поширення крипторхізму серед малих та середніх порід собак була виявлена також українськими та іноземними дослідниками [25, 26]. Випадків крипторхізму у великих порід та безпородних псів нами зареєстровано не було, що ще раз підтверджує важливість спадковості в етіології цієї патології.

Поширення крипторхізму у котів у 2023–2025 рр. встановлено в середньому на рівні $0,63 \pm 0,29$ % ($p \leq 0,05$) від усіх захворювань котів, із збільшенням кількості випадків щороку (від 0,3 до 0,87 %), що, за припущенням, може бути пов'язано з інбридингом (табл. 3).

Таблиця 3

Поширення крипторхізму серед котів

Роки	Усіх захворювань котів	Кількість випадків патології, гол.	Кількість випадків патології, %
2023	635	2	0,3
2024	700	5	0,71
2025	798	7	0,87

Аналогічні дані щодо поширення цієї патології у котів отримано також бразильськими вченими Alice da Silva et al. (2023) [27].

Патологія найчастіше реєструвалася у таких порід котів, як британська (26 %), шотландська висловуха (26 %) та шотландська прямовуха (20 %); а в порід перська та американська короткошерста були зареєстровані поодинокі випадки крипторхізму (6 %). У такій самій кількості були представлені метиси та безпородні коти (рис. 2).

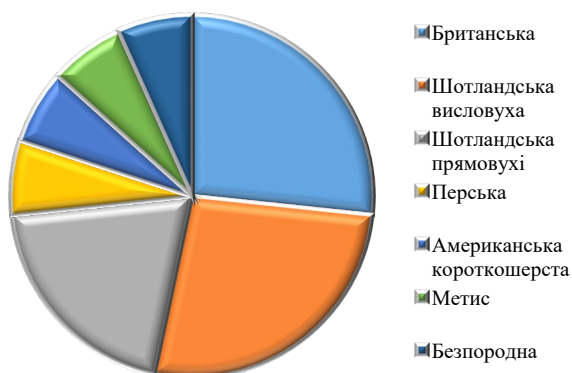


Рис. 2. Поширення крипторхізму серед різних порід котів

В дослідженнях Richardson et al. (1993) повідомлялося, що найпоширенішими породами були домашня короткошерста (50 %) та перська (20 %) [28]. Така різниця у даних, за припущенням, пов'язана з меншою популярністю в останні роки перської породи кішок.

Середній вік котів-крипторхів становив один рік (8 місяців – 1 рік), лише в одному випадку це була 5-річна тварина.

При виявленні місця розташування крипторхідних сім'яників у псів та котів встановлено, що затримувався як один сім'яник, так і обидва (табл. 4).

Таблиця 4

Види крипторхізму у собак та котів (n=15)

Вид тварин	Односторонній				Двосторонній		
	Пр		П		А	Пп	А
Собаки	–	7	2	–	2	2	2
Коти	4	2	2	2	1	2	2

Примітки: Пр – прескротальне; П – пахове; А – абдомінальне; Пп – прескротально-пахове.

Так, у псів частіше реєстрували односторонній крипторхізм (73,3 % випадків) із розташуванням правого сім'яника на виході з пахового каналу – 46,7 % ($p \leq 0,05$). Затримання опущення лівого тестикула спостерігалось у 13,3 % випадків крипторхізму; абдомінальне розташування сім'яника виявлено також у 13,3 % псів-крипторхів ($p \leq 0,05$).

Отримані дані щодо одностороннього крипторхізму у псів збігаються із даними таких дослідників, як Mattos et al. (2000) та Joachim Proot et al. (2007) [29, 30].

За двостороннього крипторхізму (у 26,6 % випадків) статеві залози були виявлені у паховому каналі (рис. 3) та на виході з нього (13,3 %), а також у черевній порожнині – 13,3 % ($p \leq 0,05$), де розташування затриманих статевих залоз варіювалося від каудального полюса нирки до пахової області.

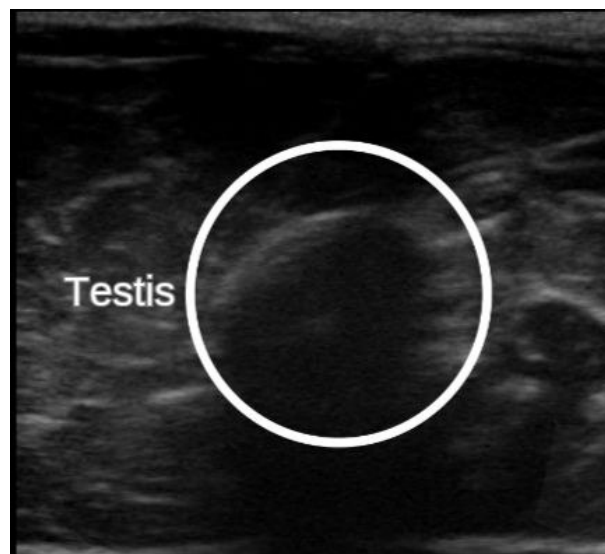


Рис. 3. Сонограма сім'яника у паховому каналі

Висока прогностична цінність (майже 100 %) порівняння ультразвукової ідентифікації та локалізації затриманих сім'яників з їхньою хірургічною ідентифікацією та локалізацією також підтверджується у роботах Jovan Spasojevic et al. (2022) [31].

В одному з випадків під час клінічного огляду пса-крипторха сім'яники не були виявлені ні в паховому каналі, ні в черевній порожнині. Проте тварина вирізнялася активним темпераментом, була нестриманою у поведінці, іноді агресивною. З метою

постановки діагнозу було проведено дослідження рівня тестостерону в крові. Так, його кількість становила 2,13 нмоль/л, що виявилося нижче за референтні значення (3,5–34 нмоль/л), але вище цього показника у кастрованих псів (<1 нмоль/л). Такий самий рівень тестостерону у псів-крипторхів був виявлений і польськими вченими Hornakova et al. (2017) [32]. У зв'язку з ймовірністю розвитку неоплазії сім'яників, затриманих у черевній порожнині, було прийнято рішення про проведення діагностичної лапаротомії, під час якої в черевній порожнині в ділянці сечового міхура виявлено обидва сім'яні канатики з атрофованими судинами та тестикулами.

Крипторхізм у котів діагностували під час клінічного огляду перед проведенням орхідектомії. Односторонній крипторхізм був частішим, ніж двосторонній (73 % та 26,6 % випадків відповідно) ($p \leq 0,05$). При цьому затриманий сім'яник розташовувався підшкірно у ділянці між виходом із пахового каналу та калиткою (55 %) частіше зліва, ніж справа ($p \leq 0,05$). Паховий крипторхізм як ліво-, так і правосторонній був встановлений у 36,3 % випадків ($p \leq 0,05$).

Отримані результати щодо видів крипторхізму у котів збігаються із дослідженнями Villalobos-Gomez et al. (2023) [33].

В одного кота було поставлено діагноз односторонній абдомінальний крипторхізм. Під час збору анамнезу встановлено, що тварині у молодому віці, імовірно, була виконана кастрація. Проте він продовжував демонструвати шлюбну поведінку: збудження, постійну вокалізацію, розбризкування сечі з характерним запахом.

Оглядом і пальпацією сім'яники не були виявлені ні у калитці (остання була зменшена), ні під шкірою між калиткою та паховим каналом. Проте під час огляду статевого члена виявлено андрогензалежні кератинізовані шипики (які відсутні у кастрованих котів). На такий ефективний і доступний діагностичний інструмент для виявлення крипторхізму у котів, що мають поведінку самця за відсутності сім'яників у калитці, також вказували Метон et al. (2001) [34]. Ультразвуковим дослідженням було виявлено 1 сім'яник у черевній порожнині.

За двостороннього крипторхізму в одного кота один сім'яник був виявлений у паховому каналі, а інший – на виході з нього та легко пальпувався під шкірою. У іншої тварини обидва сім'яники були розташовані в паховому каналі; у двох котів встановлено абдомінальний крипторхізм. При черевному крипторхізмі затримані статеві залози, їхні придатки та сім'яні канатики частіше розташовувалися біля сечового міхура і не відрізнялися від опущених у калитку ні візуально, ні сонографічно (рис. 4, 5).

Ускладнень крипторхізму, таких як неоплазія сім'яників або перекручування сім'яного канатика, у самців не виявлено.

Орхідектомію за екстраабдомінального крипторхізму проводили відкритим методом із розсіканням загальної піхвової оболонки. Кастрацію при інтраабдомінальному крипторхізмі проводили, застосовуючи медіанний оперативний доступ у позадупупковій

ділянці, враховуючи той факт, що сім'яник може розташовуватися у будь-якій ділянці черевної порожнини, починаючи від нирок аж до пахового кільця.



Рис. 4. Сонограма сім'яника у черевній порожнині

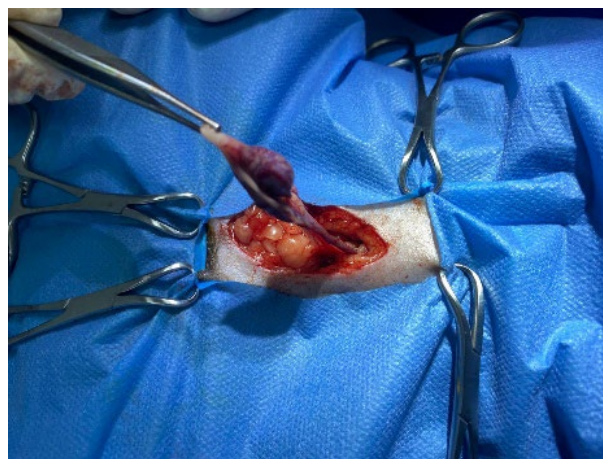


Рис. 5. Сім'яник із сім'яним канатиком, виведений з черевної порожнини

Майже в усіх випадках у ділянці шийки сечового міхура знаходили сім'яний канатик, потягнувши за який виявляли сім'яник, або ж останній розташовувався безпосередньо на сечовому міхурі. Після накладання лігатури на сім'яний канатик сім'яник ампутували, після чого видаляли фізіологічний сім'яник.

Висновки

Встановлено, що за період 2023–2025 рр. крипторхізм у псів реєструвався у $0,65 \pm 0,12$ % ($p \leq 0,05$) від усіх захворювань псів, із майже однаковими коливаннями в різні роки. Патологія виявлена у таких порід, як померанці (20 %), той-тер'єри, чіхуахуа, мальтійські болонки (по 13,3 %), а також в інших малих і середніх порід віком від 5 місяців до 3 років. У 73,3 % випадків патології у псів виявляли односторонній крипторхізм із прескrotальним розташуванням правого сім'яника у 46,7 %, а лівого – у 13,3 % випадків ($p \leq 0,05$). Двосторонній крипторхізм

установлений у 26,6 % випадків у вигляді пахового (13,3 %) та абдомінального (13,3 %) ($p \leq 0,05$).

Крипторхізм у котів у 2023–2025 рр. був зафіксований у $0,63 \pm 0,29$ % ($p \leq 0,05$) від усіх захворювань котів із збільшенням кількості випадків щороку (від 0,3 % до 0,87 %) у віковій групі 8 місяців – 1 рік серед таких порід, як британська (26 %), шотландська висловуха (26 %) та шотландська прямоуха (20 %). Односторонній крипторхізм був частішим, ніж двосторонній (73 % та 26,6 % відповідно) із прескротальним (55 %), паховим (36,3 %) або абдомінальним (6 %) розташуванням частіше лівого сім'яника ($p \leq 0,05$). За двостороннього крипторхізму сім'яники затримувалися як під шкірою, так і в паховому каналі або у черевній порожнині (разом 13,3 %) ($p \leq 0,05$).

Структура крипторхідних сім'яників візуально та сонографічно не відрізнялася від фізіологічних. Неоплазії сім'яників та перекручування сім'яного канатика у жодної тварини не виявлено. Лікування самців-крипторхів проводили шляхом орхідектомії, а за абдомінального крипторхізму – після проведення медіанної лапаротомії.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження будуть спрямовані на впровадження та застосування лапароскопічної крипторхідектомії як менш інвазивного методу лікування самців з абдомінальним крипторхізмом порівняно з лапаротомічним втручанням.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що всі проведені клінічні дослідження та хірургічні втручання повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до тварин та принципам біоетики. Клінічна та хірургічна частини роботи виконані з суворим дотриманням вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV), а також Директиви 2010/63/EU Європейського Парламенту та Ради від 22 вересня 2010 року про захист тварин, що використовуються для наукових цілей.

Усі діагностичні маніпуляції (включаючи пальпацію, ультразвукове дослідження та відбір зразків крові для імуноферментного аналізу) і терапевтичні процедури (орхідектомія відкритим та лапаротомним методами) проводилися виключно після отримання офіційної інформованої згоди від власників тварин на їхню участь у дослідженні та проведення оперативного втручання. Під час перебування у ветеринарній клініці тваринам забезпечували належні умови утримання, якісний догляд, а також мінімізацію будь-яких стресових, больових чи дискомфортних чинників за допомогою адекватного анестезіологічного супроводу та післяопераційного знеболення.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

1. Karasu, A., Kuşcu, Y., Kayıkcı, C., Gençcelep, M., Kavas, B., & Ekin, M. (2024). Evaluation of cryptorchidism in cats and dogs. *Turkish Journal of Veterinary Research*, 8(1), 81–87. <https://doi.org/10.47748/tjvr.1440967>
2. Spangenberg, C. (2021). Canine cryptorchidism: A concise review of its origin, diagnosis, and treatment Caroline Spangenberg. *Biology, Engineering, Medicine and Science Reports*, 7(1), 1–3. <https://doi.org/10.5530/bems.7.1.1>
3. Ali, O. J., Ali, T. G. M., Raouf, G. M., & Dana, O. I. (2022). Clinical and histological aspects of cryptorchidism in dogs and cats. *Al-Anbar Journal of Veterinary Sciences*, 15(1), 34–42. <https://doi.org/10.37940/ajvs.2022.15.1.5>
4. Yang, W.-R., Li, B.-B., Hu, Y., Zhang, L., & Wang, X.-Z. (2020). Oxidative stress mediates heat-induced changes of tight junction proteins in porcine sertoli cells via inhibiting CaMKKβ-AMPK pathway. *Theriogenology*, 142, 104–113. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.09.031>
5. Hernández-Jardón, N., Rojas-Castañeda, J. C., Landero-Huerta, D., Reyes-Cruz, E., Reynoso-Robles, R., Juárez-Mosqueda, M. d. L., Medrano, A., Reyes-Delgado, F., & Viguera-Villaseñor, R. M. (2022). Cryptorchidism: The dog as a study model. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.935307>
6. Zini, A., & Schlegel, P. N. (1997). Cu/Zn superoxide dismutase, catalase and glutathione peroxidase mRNA expression in the rat testis after surgical cryptorchidism and efferent duct ligation. *Journal of Urology*, 158(2), 659–663. [https://doi.org/10.1016/s0022-5347\(01\)64578-6](https://doi.org/10.1016/s0022-5347(01)64578-6)
7. Gotoh, M., Miyake, K., & Mitsuya, H. (1984). A study of cryptorchidism. I. Light and electron microscopic study of Leydig's cells in the testes of cryptorchid patients. *Hinyokika Kyo. Acta Urologica Japonica*, 30(3), 327–347.
8. Baker, B. A., Morley, R., & Lucas, A. (1988). Plasma testosterone in preterm infants with cryptorchidism. *Archives of Disease in Childhood*, 63(10), 1198–1200. <https://doi.org/10.1136/adc.63.10.1198>
9. Barthold, J. S., Manson, J., Regan, V., Si, X., Hassink, S. G., Coughlin, M. T., & Lee, P. A. (2004). Reproductive hormone levels in infants with cryptorchidism during postnatal activation of the pituitary-testicular axis. *The Journal of Urology*, 172(4 Part 2), 1736–1741. <https://doi.org/10.1097/01.ju.0000138523.24337.be>
10. Peters, M., de Rooij, D., Teerds, K., van Der Gaag, I., & van Sluijs, F. (2000). Spermatogenesis and testicular tumours in ageing dogs. *Reproduction*, 120(2), 443–452. <https://doi.org/10.1530/jrf.0.1200443>
11. Virtanen, H. E., & Toppari, J. (2007). Epidemiology and pathogenesis of cryptorchidism. *Human Reproduction Update*, 14(1), 49–58. <https://doi.org/10.1093/humupd/dmm027>
12. Grieco, V., Riccardi, E., Greppi, G. F., Teruzzi, F., Iermanò, V., & Finazzi, M. (2008). Canine testicular tumours: a study on 232 dogs. *Journal of Comparative Pathology*, 138(2-3), 86–89. <https://doi.org/10.1016/j.jcpa.2007.11.002>
13. Soto-Heras, S., Reinacher, L., Wang, B., Oh, J. E., Bunnell, M., Park, C. J., Hess, R. A., & Ko, C. J. (2024). Cryptorchidism and testicular cancer in the dog: unresolved questions and challenges in translating insights from human studies. *Biology of Reproduction*, 111(2), 269–291. <https://doi.org/10.1093/biolre/iaec075>

14. Raisi, A., & Davoodi, F. (2022). Testicular torsions in veterinary medicine. *Veterinary Research Communications*, 46 (2), 303–313. <https://doi.org/10.1007/s11259-021-09873-5>
15. Yates, D., Hayes, G., Heffernan, M., & Beynon, R. (2003). Incidence of cryptorchidism in dogs and cats. *Veterinary Record*, 152 (16), 502–504. <https://doi.org/10.1136/vr.152.16.502>
16. Cho, S. E., Fudge, J. M., Page, B., Kim, S., & Yu, D. (2025). Cryptorchidism in dogs and cats presented for elective gonadectomy: A descriptive cohort study of 306 animals treated between 2018 and 2023. *Topics in Companion Animal Medicine*, 58, 100961. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4917924>
17. Felumlee, A. E., Reichle, J. K., Hecht, S., Penninck, D., Zekas, L., Dietze Yeager, A., Goggin, J. M., & Lowry, J. (2012). Use of ultrasound to locate retained testes in dogs and cats. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 53 (5), 581–585. <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2011.01943.x>
18. Purswell, B. J., & Wilcke, J. R. (1993). Response to gonadotrophin-releasing hormone by the intact male dog: Serum testosterone, luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone. *Journal of Reproduction and Fertility*, 47, 335–341.
19. Goericke-Pesch, S., & Wehrend, A. (2013). Cryptorchidism in dogs and cats – definition, prevalence, diagnosis and therapy. *Der Praktische Tierarzt*, 94 (11), 974–981.
20. Walwadkar, K., Gajbhiye, Sh., Banerjee, S., & Kaushik, A. (2025). A review on cryptorchidism-induced alopecia in dogs. *International Journal of Innovations in Science, Engineering and Management*, 4 (2), 181–185. <https://doi.org/10.69968/ijisem.2025v4i2181-185>
21. Hess, R. A., Park, C. J., Soto, S., Reinacher, L., Oh, J.-E., Bunnell, M., & Ko, C. J. (2024). Male animal sterilization: history, current practices, and potential methods for replacing castration. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1409386>
22. Reis, E. L. A., Bertoldo, J. B., Alves, B. H., & Junior, S. T. A. (2021). Criptorquidismo em cães: Relato de caso / cryptorchism in dogs: Case report. *Brazilian Journal of Development*, 7 (11), 103361–103380. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n11-114>
23. Shrestha, A., Neupane, N., Nepal, G., & Rimal, S. (2025). Bilateral abdominal cryptorchidism: A case study in dog and review of its relevant consequences. *Mathews Journal of Veterinary Science*, 9 (5). <https://doi.org/10.30654/mjvs.10078>
24. Gradil, C., & McCarthy, R. (2023). Cryptorchidism. In E. Monnet (Ed.), *Small Animal Soft Tissue Surgery* (2nd ed., pp. 720–725). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781119693741.ch59>
25. Khokhlov, A. M., Honcharova, I. I., Fediaieva, A. S., & Shevchenko, O. B. (2023). Phylogenetic processes in dog domestication and breeding. *Faktori Eksperimental'noi Evolucii Organizmiv*, 33, 79–84. <https://doi.org/10.7124/feeo.v33.1570>
26. Spangenberg, C. (2021). Canine cryptorchidism: A concise review of its origin, diagnosis and treatment caroline spangenberg. *Biology, Engineering, Medicine and Science Reports*, 7 (1), 1–3. <https://doi.org/10.5530/bems.7.1.1>
27. Silva, A. d., Gabardo, D. d. S., & Sá, L. S. d. (2023). Criptorquidismo bilateral en felino: Relato de caso. *Pubvet*, 17 (09), e1452. <https://doi.org/10.31533/pubvet.v17n9e1452>
28. Richardson, E. F., & Mullen, H. (1993). Cryptorchidism in cats. *Compendium on Continuing Education for the Practicing Veterinarian: Small Animal*, 15 (10), 1342–1369.
29. Mattos, M. R. F., Simões-Mattos, L., & Domingues, S. F. S. (2000). Cryptorchidism in dog. *Ciência Animal*, 10 (1), 61–70.
30. Certsas, J. P. (2007). Laparoscopy-assisted cryptorchidectomy in the dog and cat. *Companion Animal*, 12 (8), 17–21. <https://doi.org/10.1111/j.2044-3862.2007.tb00212.x>
31. Spasojević, J., Galić, I., Toholj, B., Stančić, I., Nikolić, S., Davidov, I., Kukurić, T., & Popović, N. (2022). Cryptorchidism in dogs. *Veterinarski Žurnal Republike Srpske*, 22 (1-2), 142–155. <https://doi.org/10.7251/vetjen2201142s>
32. Hornakova, L., Vrbovska, T., Pavl'ak, M., Valencakova-Agyagosova, A., Halo, M., & Hajurka, J. (2017). The evaluation of blood concentrations of testosterone, 17 β -oestradiol and anti-Müllerian hormone in dogs with cryptorchidism and testicular tumours. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 20 (4), 677–685.
33. Villalobos-Gomez, J., Del-Angel-Caraza, J., Tapia-Araya, A., Brandao, F., Hernández-López, C. A., Martínez-Gomariz, F., Botero-Crespo, C. E., & Properzi, R. (2023). A retrospective study of laparoscopic cryptorchidectomy in 19 cats with intra-abdominal testes. *Animals*, 13 (1), 181. <https://doi.org/10.3390/ani13010181>
34. Memon, M., & Tibary, A. (2001, July 1). Canine and feline cryptorchidism. In P. W. Concannon, G. England, & J. Verstegen (Eds.), *Recent Advances in Small Animal Reproduction. International Veterinary Information Service*. <https://aleksabokarev.narod.ru/foreignarticle2/9.pdf>

ORCID

- | | |
|---|---|
| T. Panasova  | https://orcid.org/0000-0002-4103-7956 |
| B. Kyrychko  | https://orcid.org/0000-0003-1463-5501 |
| S. Kulynych  | https://orcid.org/0000-0003-1660-643X |
| K. Shepel  | https://orcid.org/0009-0005-7574-2732 |



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Green synthesis of Iron nanoparticles from *Pseudomonas aeruginosa* isolated from soil and their antibacterial and antibiofilm activity against pathogenic bacteria

I. J. Abbass¹ | E. A. Al-Imara² | D. A. Alhasan³

Article info

Correspondence Author

I. J. Abbass

E-mail:

ismail.abbs@uobasrah.edu.iq

¹ College of Education,
Quran, University of Basrah,
University of Basrah,
Basrah, 61016 Iraq

² Marine Science Center,
University of Basrah,
Basrah, 61001 Iraq

³ College of Veterinary
Medicine, University of
Shatrah,
Nasiriyah, 64001 Iraq

Citation: Abbass, I. J., Al-Imara, E. A., & Alhasan, D. A. (2026). Green synthesis of iron nanoparticles from *Pseudomonas aeruginosa* isolated from soil and their antibacterial and antibiofilm activity against pathogenic bacteria. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 244–254. doi: 10.31210/spi2026.29.01.38

Fifty-four soil samples were collected from various sites (agricultural, oil-polluted, riverbank, and animal dung-contaminated soils) in northern Basrah, southern Iraq, between September 18 and November 28, 2022. The specimens were transported to the laboratory within 3 hours, serially diluted, and cultivated on selective media. The screening indicated that 28 samples (51.9 %) exhibited positive bacterial growth. Phenotypic and molecular identification via PCR amplification of the 16S rRNA gene (~1400 bp) revealed the presence of *Pseudomonas aeruginosa* (8 isolates), *Escherichia coli* (7 isolates), *Klebsiella pneumoniae* (4 isolates), *Staphylococcus aureus* (4 isolates), *Bacillus cereus* (3 isolates), and *Bacillus subtilis* (2 isolates). Among these, a dominant *P. aeruginosa* isolate was successfully utilized for the green biosynthesis of iron nanoparticles (FeNPs). The successful formation of biogenic FeNPs was initially indicated by a rapid color transition from yellow to dark brown. UV-Vis spectroscopy confirmed nanoparticle synthesis with a sharp surface plasmon resonance peak at 304 nm, while FT-IR spectroscopy verified the definitive metal-oxygen (Fe–O) stretching bond at 589.97 cm⁻¹ along with capping bacterial functional groups. Scanning electron microscopy (SEM) demonstrated a predominantly spherical nanoparticle morphology with a well-defined representative particle size of 22.83 nm. The quantitative microtiter plate and Congo red agar assays confirmed that the pathogenic isolates possessed a robust baseline capacity for biofilm formation. The biosynthesized FeNPs exhibited exceptional, concentration-dependent antibiofilm efficacy, achieving characteristically high biofilm inhibition rates of up to 91.64 % at concentrations of 50 and 100 µg/mL. Furthermore, the nanoparticles displayed potent antibacterial activity via the agar well diffusion method, with inhibition zones expanding proportionally with concentration and reaching a maximum diameter of 21.0 mm against *P. aeruginosa*. These collective findings suggest that biosynthesized iron nanoparticles could serve as highly effective, biocompatible, and environmentally friendly nano-antimicrobials for mitigating multidrug-resistant pathogens and persistent biofilm-associated infections.

Keywords: *Pseudomonas aeruginosa*, Iron nanoparticles, Green synthesis, antibiofilm, antibacterial activity.

Зелений синтез наночастинок заліза за допомогою *Pseudomonas aeruginosa*, виділеної з ґрунту, та їхня антибактеріальна й антибіоплівкова активність проти патогенних бактерій

І. Дж. Аббас¹ | Е. А. Аль-Імара² | Д. А. Альхасан³

¹ Педагогічний факультет в
Ель-Курні, Університет
Басри,
Басра, Ірак

² Центр морських наук,
Університет Басри,
Басра, Ірак

³ Факультет ветеринарної
медицини, Університет
Шатри,
Насірія, Ірак

У період з 18 вересня по 28 листопада 2022 року з різних локацій у північній частині Басри (південний Ірак) було відібрано 54 зразки ґрунту (сільськогосподарські, забруднені нафтою, прибережні ґрунти, а також ґрунти, забруднені тваринним гноєм). Зразки транспортували до лабораторії протягом 3 годин, після чого виконували серійні розведення та висів на селективні живильні середовища. Первинний скринінг показав, що 28 зразків (51,9 %) продемонстрували позитивний ріст бактерій. За допомогою фенотипової та молекулярно-генетичної ідентифікації шляхом ПЛІР-ампліфікації гена 16S рНК (~1400 пар основ) було підтверджено наявність таких видів бактерій: *Pseudomonas aeruginosa* (8 ізолятів), *Escherichia coli* (7 ізолятів), *Klebsiella pneumoniae* (4 ізоляти), *Staphylococcus aureus* (4 ізоляти), *Bacillus cereus* (3 ізоляти) та *Bacillus subtilis* (2 ізоляти). Серед них найбільш поширений ізолят *P. aeruginosa* було успішно використано для зеленого біосинтезу наночастинок заліза (FeNPs). На початковому етапі формування біогенних FeNPs спостерігалася швидка зміна кольору реакційної суміші з жовтого на темно-коричневий. Метод УФ-видимої спектроскопії підтвердив синтез наночастинок за наявністю чіткого піку поверхневого плазмонного резонансу при 304 нм, тоді як ІЧ-спектроскопія з перетворенням Фур'є остаточно верифікувала формування характерного валентного зв'язку метал-кисень (Fe–O) при 589,97 см⁻¹ разом із функціональними групами бактеріальних біомолекул оболонки. Скануюча електронна мікроскопія продемонструвала переважно сферичну морфологію наночастинок із чітко визначеним репрезентативним розміром 22,83 нм. Кількісний аналіз у мікротитрованих планшетах та тест на агарі з конго червоним підтвердили, що досліджувані патогенні ізоляти мали високу базову здатність до формування біоплівки. Біосинтезовані FeNPs виявили виняткову дозозалежну антибіоплівкову ефективність, забезпечуючи високі показники пригнічення біоплівки – до 91,64 % при концентраціях 50 і 100 мкг/мл. Крім того, наночастинок продемонстрували потужну антибактеріальну дію за методом дифузії в агар: зони пригнічення росту збільшувалися пропорційно до концентрації, досягаючи максимального діаметра 21,0 мм відносно *P. aeruginosa*. У сукупності ці результати свідчать про те, що біосинтезовані наночастинок заліза можуть слугувати високоефективною, біосумісною та екологічно безпечною альтернативою антибіотикам для боротьби з мультирезистентними патогенами та хронічними інфекціями, асоційованими з біоплівками.

Ключові слова: *Pseudomonas aeruginosa*, наночастинок заліза, зелений синтез, антибіоплівкова дія, антибактеріальна активність.



Бібліографічний опис для цитування: Аббас І. Дж., Аль-Імара Е. А., Альхасан Д. А. Зелений синтез наночастинок заліза за допомогою *Pseudomonas aeruginosa*, виділеної з ґрунту, та їхня антибактеріальна й антибіоплівкова активність проти патогенних бактерій. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 244–254.

Introduction

Pseudomonas aeruginosa is a Gram-negative, asporogenous, and monoflagellated bacterium [1]. It is a highly versatile and adaptable bacterial species prevalent in the environment, possessing a wide variety of virulence genes, substantial clinical significance, and numerous innate or acquired antibiotic resistance traits. Additionally, *P. aeruginosa* expresses multiple intrinsic and acquired antimicrobial resistance (AMR) mechanisms, including low outer-membrane permeability, expression of efflux pumps, and chromosomal or plasmid-mediated β -lactamases. Due to limited treatment options, its association with increased mortality, and longer ICU stays, *P. aeruginosa* is currently classified by the World Health Organization as a critical-priority pathogen [2].

Biofilm-embedded cells of this pathogen are highly tolerant to antibiotics, disinfectants, and host immunity. This tolerance predisposes patients to chronic colonization, graft failure, and progression to sepsis [2]. Consequently, interest in developing various nanomaterials via green chemistry to control microbial pathogens has grown significantly, driven by the numerous benefits of nanotechnology [3]. Furthermore, these nanomaterials have found widespread use in a variety of applications, including antioxidants, nanosensors, anticancer agents, and coatings for medical devices [4].

For the synthesis of nanoparticles (NPs), employing green chemistry instead of conventional physical and chemical methods offers several distinct advantages, including greater cost-effectiveness, simplicity, reduced environmental impact, and lower release of hazardous chemicals [3]. Nanoparticles possess unique properties that make them a promising approach for treating microbial infections, such as small size, large surface area-to-volume ratio, high stability, biocompatibility, targeted delivery capabilities, and enhanced cellular interactions. In recent years, green chemistry has facilitated the synthesis of biocompatible NPs effective in controlling biofilm-related infections while minimizing the reliance on conventional antibiotics. Several studies have reported the potential of green-synthesized nanoparticles to combat biofilms formed by both mono- and polymicrobial pathogens associated with severe diseases. Various biological sources – such as plants, animals, microorganisms, and algae – have been widely utilized in NP synthesis, where their biomolecules play a crucial role as reducing and stabilizing agents during nanoparticle formation [5].

These NPs have been synthesized using a wide variety of biological materials, including plants, animals, bacteria, and algae. The production process involves several biomolecules from these biological sources; these molecules form a corona around the nanoparticles, enhancing their stability and biocompatibility [3]. Furthermore, by interacting with the cell membrane and undergoing internalization, the corona layer covering the NPs increases their biological efficacy. When this corona is derived from microbial species, it can facilitate contact with the cell surface of microbial pathogens that share similar structural components, thereby helping to inhibit biofilm-forming microbes [6].

One of the most critical elements required by these bacteria is iron. The fact that iron-dependent genes account for approximately 6 % of overall gene expression underscores the vital importance of this element. In *P. aeruginosa*, fluctuations in iron levels influence intracellular signaling and subsequent biofilm development. These mechanisms demonstrate how crucial iron is to the lifecycle of this opportunistic pathogen [7].

The current study aims to apply this concept by synthesizing bacterial-inspired nanoparticles designed to suppress biofilm formation and reduce the virulence of bacterial pathogens. Specifically, utilizing *P. aeruginosa* siderophores as a surface corona in nanoparticle synthesis represents a promising strategy for developing potential antivirulence and antibiofilm agents. Nanoparticles synthesized using siderophores may be recognized by specific bacterial receptor proteins and active transport systems. Because these cellular systems naturally identify siderophore molecules, they can facilitate nanoparticle entry into bacterial cells, subsequently leading to cell death.

The aim of the study

Therefore, this study aimed to isolate bacterial species from various soil samples, identify the most prevalent species, utilize them for the biosynthesis of iron nanoparticles, and evaluate their resulting antimicrobial and antibiofilm activities.

Materials and methods

Samples collection

A total of fifty-four soil samples were collected from various sites in northern Basrah, southern Iraq, specifically from the Al-Qurna and Al-Madinah districts. The samples represented diverse environments, including agricultural soil, oil-polluted areas, riverbanks (Tigris and Euphrates), sewage-impacted sites, and soil contaminated with animal dung. The samples were obtained under sterile conditions by digging 5 cm into the ground using a shovel and were collected in sterilized plastic bottles. All samples were labeled with relevant metadata (location, date, and soil type) and transferred to the laboratory within 3 hours. For processing, 1 gram of each soil sample was suspended in a test tube containing 10 mL of distilled water. Serial tenfold dilutions ranging from 10^{-1} to 10^{-5} CFU/mL were prepared using a micropipette. Subsequently, a 0.5 mL aliquot from the dilutions was inoculated onto nutrient agar plates and incubated overnight at 37 °C [8].

Isolation of bacteria

Bacterial isolation was performed by cultivating the samples on different selective and differential culture media, including nutrient agar, blood agar, and MacConkey agar.

Bacterial identification

Microscopic identification

The isolated bacteria were subjected to Gram staining and examined under an optical microscope to evaluate

their Gram reaction (Gram-positive or Gram-negative) and cellular morphology.

Phenotypic identification

Bacterial isolates grown on the various media were phenotypically identified based on macro-morphological characteristics of the colonies, including color, margin shape, elevation, and size.

Genetic identification

For *Pseudomonas aeruginosa* isolates selected for the biosynthesis of iron nanoparticles (FeNPs), genomic DNA was extracted using the Presto™ Mini gDNA Bacteria Kit (Geneaid) following the manufacturer's protocol. The quality and concentration of the extracted DNA were evaluated via agarose gel electrophoresis according to the method described by [9]. The purified genomic DNA then served as a template for PCR amplification using Primax PCR Master Mix. The 16S rRNA gene was amplified using specific primers according to the protocol described by [10], targeting an expected amplicon size of 1400 bp. The primer sequences utilized were:

- F: 5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3'
- R: 5'-TACGGTACCTTGTTACGACTT-3'

Detection of biofilm-forming bacterial isolates

Congo red agar method

The screening for biofilm-forming isolates was conducted using the Congo red agar medium, following the procedure described by [11].

Microtiter plate (MTP) assay

Biofilm formation by the bacterial isolates was quantified using the microtiter plate method according to the protocol by [12]. The optical density (OD) of each well was measured using a Multiskan Go spectrophotometer at a wavelength of 630 nm according to [13]. Biofilm formation capacity was determined using the following parameters:

- A : Absorbance of the test wells containing the bacterial suspension with the culture medium.
- A_C : Absorbance of the control wells containing only the culture medium.

The strength of biofilm formation was categorized as follows:

- $A \leq A_C$: Non-biofilm producer (Negative)
- $A_C < A \leq 2 \times A_C$: Moderate biofilm producer
- $A > 2 \times A_C$: Strong/High biofilm producer

Synthesis of extracellular iron nanoparticles (FeNPs) from P. aeruginosa

Preparation of P. aeruginosa supernatant

The selected *P. aeruginosa* isolate was inoculated into nutrient broth and incubated in a shaking incubator at 150 rpm and 37 °C for 48 hours to generate sufficient biomass. Afterward, the culture was centrifuged at 6,000 rpm to pellet the bacterial cells. The cell-free supernatant was collected and stored at 4 °C until further use.

Biosynthesis of iron nanoparticles (FeNPs)

To prepare the precursor solution, 0.5 g of iron nitrate [$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$] was dissolved in 100 mL of sterile distilled water to achieve a final concentration of 0.01 mM and stored until use. Subsequently, 100 mL of this iron nitrate solution was mixed with 100 mL of the *P. aeruginosa* cell-free supernatant. A rapid change in the

color of the mixture indicated the initial formation of nanoparticles.

Purification of nanoparticles

The synthesized nanoparticles were harvested by centrifugation at 6,000 rpm for 15 minutes to collect the pellet and remove the supernatant. The resulting precipitate was washed three times with double-distilled water (DDW). Finally, the purified nanoparticles were dried in a hot air oven at 100 °C for 3 hours, yielding dry FeNPs ready for subsequent characterization assays.

Characterization of FeNPs

Visual observation (color change)

The initial indication of the successful biosynthesis of iron nanoparticles was monitored via the visual color change of the reaction solution.

UV-visible spectroscopy

1. A 3 mL aliquot of the initial *P. aeruginosa* cell-free supernatant was analyzed in the spectrophotometer to establish the baseline absorbance.

2. Subsequently, a 3 mL aliquot of the reaction mixture was collected after the color change, and its absorbance spectrum was recorded. The resulting profiles were compared against the baseline supernatant spectrum to confirm nanoparticle synthesis.

FT-IR spectroscopy

A FT-IR 4600 spectrometer was used to identify the functional groups present in the bacterial supernatant solution that are responsible for the reduction of mineral salts. The spectra were recorded with a resolution of 4 cm^{-1} . For analysis, 0.1 mg of the synthesized nanomaterial was weighed and dissolved in 10 mL of dimethyl sulfoxide (DMSO). The mixture was then placed in an ultrasonic bath for 16 minutes to ensure complete homogenization of the material within the solvent. Subsequently, a 5–10 μL aliquot was pipetted and placed onto the crystal lens. After ensuring the complete absence of air bubbles, the sample was secured using the pressure arm, and the measurement was conducted [14].

Scanning electron microscopy (SEM)

The morphological properties of the nanoparticles were analyzed using scanning electron microscopy (SEM) for surface imaging. This method reveals the shape, structural characteristics, and size distribution of the nanoparticles. It also provides essential information regarding the level of agglomeration, particle aggregation, and purity of the synthesized material. Modern SEM instruments are capable of determining the morphology of nanoparticles smaller than 15 nm. For characterization, approximately 0.5 g of the dry nanomaterial was weighed and submitted to the central SEM laboratory for analysis [15].

Evaluation of the antibiofilm activity of FeNPs

The microtiter plate assay, as described by [16], was used to evaluate the antibiofilm activity of the synthesized iron nanoparticles (FeNPs). Biofilm-forming bacterial isolates were initially activated on nutrient agar. A 5 mL aliquot of Brain Heart Infusion (BHI) broth supplemented with 2 % glucose was prepared in sterile test tubes, and the bacterial cultures were inoculated into the medium. Subsequently, 100 μL of the resulting bacterial suspension was distributed into individual wells of a sterile 96-well microtiter plate.

For each isolate, wells containing the bacterial suspension without nanoparticles served as the negative control. Iron nanoparticles were added to the remaining wells at concentrations ranging from 50 to 100 µg/mL in a horizontal arrangement, with three replicates for each concentration. The plates were then incubated at 37 °C for 24 hours to allow biofilm development.

Following the incubation period, the contents of the wells were carefully aspirated, and each well was washed three times with phosphate-buffered saline (PBS) to eliminate non-adherent cells. The adhered biofilms were stained with a 3 % crystal violet solution and incubated at room temperature for 15 minutes. Subsequently, 100 µL of 93 % methanol was added to each well for 10 minutes to fix the attached cells. Following fixation, the wells were emptied and washed three times with distilled water to remove excess stain. To solubilize the bound dye, 160 µL of 33 % glacial acetic acid was added to each well. The optical density (OD) was then measured at 630 nm using a Multiskan™ Go microplate reader. Finally, the percentage of biofilm inhibition was calculated according to the formula described by [17]:

$$\text{Biofilm Inhibition (\%)} = \frac{\text{wavelength of control pit} - \text{wavelength of equation pit}}{\text{wavelength of the control pit}} \times 100$$

Effect of iron nanoparticles on the growth of pathogenic bacteria

The antibacterial activity of the synthesized iron nanoparticles (FeNPs) was investigated using the agar well diffusion method, as described by [18]. A stock solution was prepared by dissolving 0.001 g of iron nanoparticles, which was subsequently diluted to obtain final concentrations of 25, 50, 75, and 100 µg/mL.

The assay was performed against four distinct pathogenic bacterial species: *P. aeruginosa*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, and *S. aureus*. Bacterial suspensions were uniformly inoculated onto Mueller-Hinton agar plates, and wells with a diameter of 6 mm were punctured into the agar surface using a sterile cork borer. A volume of 0.2 mL of each iron nanoparticle concentration was carefully introduced into its respective well. The plates were then incubated at 37 °C for 24 hours. After the incubation period, the antibacterial activity was evaluated by measuring the zone of inhibition diameters (in millimeters) around each well using a standard ruler, according to the method described by [19].

Results and discussion

The bacterial culture results indicated that out of 54 collected samples, 28 samples (51.9 %) showed positive growth, while 26 samples (48.1 %) showed negative growth. **Table 1** presents the bacterial species isolated in this study along with the number of isolates obtained for each species. As shown in the table, the distribution of the 28 isolates was as follows: *Pseudomonas aeruginosa* (8 isolates), *Escherichia coli* (7 isolates), *Klebsiella pneumoniae* (4 isolates), *Staphylococcus aureus* (4 isolates), *Bacillus cereus* (3 isolates), and *B. subtilis* (2 isolates).

The genus *Pseudomonas* is one of the most diverse bacterial groups, capable of thriving in a wide variety of

environmental niches, including soil, water, plants, and animals. Unlike many other species within this genus, *P. aeruginosa* acts as a notable pathogen in animals [20]. The isolation rate of this species in the current study aligns with the findings of [21] and [22], who successfully isolated it from various soil types.

Table 1

Bacterial species isolated from soil samples and their frequency

No	Bacterial species	Frequency
1	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8
2	<i>Escherichia coli</i>	7
3	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	4
4	<i>Staphylococcus aureus</i>	4
5	<i>Bacillus cereus</i>	3
6	<i>Bacillus subtilis</i>	2

Similarly, *Klebsiella* species are ubiquitous in nature and frequently detected in soil, plants, sewage, surface water, and other environmental matrices. Among them, *K. pneumoniae* is a significant opportunistic pathogen belonging to the *Enterobacteriaceae* family, which is clinically associated with cutaneous, gastrointestinal, respiratory, and urinary tract infections [23, 24]. While some *K. pneumoniae* isolates are genuinely environmental strains flourishing in their natural habitat, others are likely introduced from human and animal sources, thus serving as environmental contaminants [25, 26]. In fact, soil, water, and vegetation have been well-established as natural habitats for *K. pneumoniae* [27]. Additionally, it has been demonstrated that clinical and environmental isolates of *K. pneumoniae* share highly similar phenotypic characteristics [28].

The bacterium *E. coli* is a facultative anaerobe. It is a mesophilic species that grows optimally between 37 °C and 42 °C; its growth is significantly hindered at lower temperatures and rapidly declines at higher temperatures. As a classic model organism, *E. coli* has been extensively researched to comprehend fundamental biological processes, including gene expression, replication, and metabolism. While the species contains numerous pathogenic strains, it is also widely utilized in biotechnology and medicine to produce recombinant proteins and enzymes [29]. Most research on *E. coli* in soils has been conducted through laboratory survival experiments using field-collected soil samples inoculated with specific bacterial strains. In these experiments, *E. coli* abundance (typically expressed as CFU/g) tends to decline quickly upon inoculation before leveling off until the bacterial levels fall below detection limits. According to previous reports, their lifespan in soil ranges from several weeks to months, or even up to 336 days; longer survival times have been observed in wetter soils and for commensal rather than pathogenic isolates [30].

Our *S. aureus* isolation results were consistent with [31], who demonstrated that certain soil characteristics significantly influence bacterial abundance, confirming that soils serve as a vital source of bacteria within watersheds. Understanding these sources is essential for implementing management measures aimed at reducing pathogen loads entering estuaries,

thereby minimizing transmission risks to recreational water users.

Furthermore, our study yielded the isolation of both *B. cereus* (3 isolates) and *B. subtilis* (2 isolates). These findings align with the results of [32], who reported that metal-contaminated soils can be effectively bioremediated by *Bacillus* species. When applied at controlled concentrations, these bacteria enhance carbon sequestration and function as powerful denitrifying agents in agroecosystems.

Numerous species and strains within the genus *Bacillus* are well-known for producing a wide array of antimicrobial compounds, including various antibiotics. Among them, *B. subtilis* is considered one of the most prominent producers, capable of synthesizing more than 70 distinct antibiotics. Some of its metabolites exhibit potent antifungal and antibacterial activities against several phytopathogenic microorganisms. Generally, *Bacillus* species are Gram-positive, rod-shaped, motile, and spore-forming bacteria commonly distributed across diverse environments, particularly in soil. Their remarkable ability to endure harsh environmental conditions is largely attributed to their capacity to generate resilient endospores through straightforward and rapid developmental cycles [33].

Microscopic Identification

Following the purification of the bacterial isolates, Gram staining revealed that the majority of the bacteria were Gram-negative rods, occurring either singly or in pairs, while some were Gram-positive, characterized by long and medium-sized rods arranged in chains. Additionally, certain bacterial samples appeared as Gram-positive spherical cells arranged in clusters.

The differentiation of the positive cultures indicated that Gram-negative bacteria constituted 64.3 % (18 isolates of the positive growth), whereas Gram-positive bacteria accounted for 35.7 % (10 isolates). Microscopic examination of *P. aeruginosa* showed Gram-negative, non-spore-forming rod cells, consistent with the observations of [34]. Under the microscope, *E. coli* appeared as single or paired non-spore-forming rods, as previously described by [35]. Microscopic examination of *K. pneumoniae* revealed short, Gram-negative rods [36]. In contrast, microscopic inspection of *B. subtilis* revealed Gram-positive rods arranged in short chains or pairs [37], while *B. cereus* displayed Gram-positive, rod-shaped cells appearing either single, paired, or in long chains [38]. Finally, microscopic examination and Gram staining of *S. aureus* demonstrated that the cells were spherical, Gram-positive, and clustered in characteristic grape-like formations, which serves as a key diagnostic feature to distinguish staphylococci [39].

Biosynthesis of iron nanoparticles (FeNPs)

The present study demonstrated that *Pseudomonas aeruginosa* possesses the capability to biosynthesize iron nanoparticles. The physicochemical properties of the synthesized nanoparticles were systematically confirmed using the following characterization techniques:

Visual observation (color variation)

The primary macro-morphological indication of successful nanoparticle biosynthesis is a distinct color

variation of the reaction mixture. **Figure 1** shows the color variation of iron nanoparticles produced by *Pseudomonas aeruginosa*. The current results align with the findings reported by [7], where the color of the solution transitionally changed from yellow to a dark brown hue, confirming the reduction of iron ions and the formation of FeNPs.

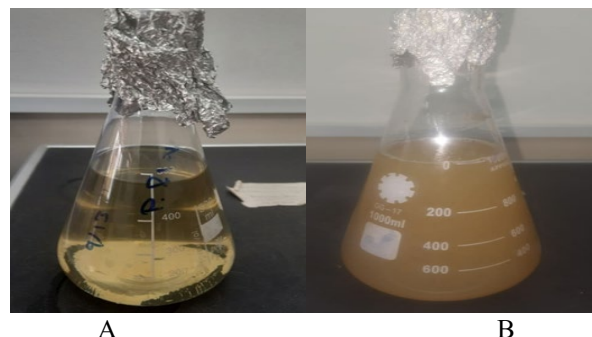


Figure 1. Color variation of iron nanoparticles produced by *Pseudomonas aeruginosa*:

A – initial cell-free culture supernatant before the reaction, and
B – synthesized nanoparticle solution after the addition of iron nitrate

UV-visible spectroscopy

The next step in verifying nanoparticle synthesis involves measuring the optical absorbance spectrum, as each nanomaterial exhibits a characteristic absorption profile. **Figure 2** shows the UV-visible spectrum of FeNPs produced by *Pseudomonas aeruginosa*. The scanning wavelength for the synthesized iron nanoparticles ranged from 200 to 700 nm. The characteristic surface plasmon resonance (SPR) absorption peak of the iron nanoparticles was observed at a wavelength of 304 nm. The spectrophotometric profiles obtained in this study align with the results previously reported by [40].

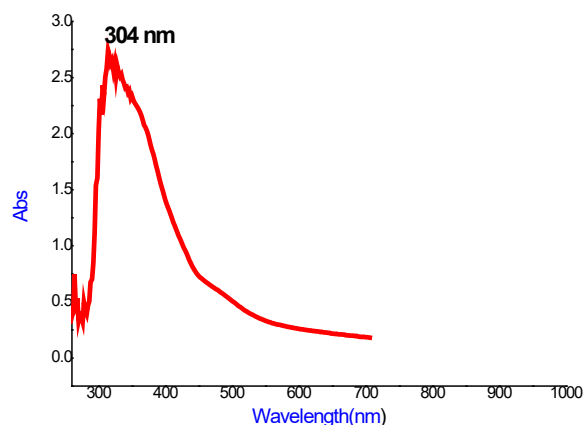


Figure 2. UV-visible absorbance spectrum of FeNPs produced by *Pseudomonas aeruginosa*

Fourier-transform infrared (FT-IR) spectroscopy

The functional surface groups present in the biosynthesized iron nanoparticles were identified using FT-IR spectroscopy. The resulting vibrational frequencies and absorption bands were interpreted using the analytical tools available on the InstaNANO platform, which facilitates the

rapid identification of active biomolecules, chemical compounds, and specific functional groups based on their peak values. **Table 2** and **Figure 3** present the

characteristic FT-IR absorption peaks and the respective types of active functional groups involved in the capping, stabilization, and green synthesis of the nanoparticles.

Table 2
FT-IR peak assignments and functional groups of FeNPs synthesized by *Pseudomonas aeruginosa*

Peak (cm ⁻¹)	Functional group / Vibrational mode	Compound class
3833.79	O–H stretching	Alcohols / Phenols
3741.23	O–H / N–H stretching	Alcohols / Amides
3617.80	O–H stretching (free)	Alcohols / Phenols
3274.54	N–H stretching / O–H bonded	Alcohols / Amines
2919.70	C–H stretching	Alkanes
2360.44	O=C=O stretching (CO ₂) background) / N–H stretching	Amine salts / Ambient atmosphere
1643.05	C=C stretching / C=N stretching	Alkenes / Imines / Oximes
960.38	C–H bending / O–H bending	Alkenes / Carboxylic acids
589.97	Fe–O stretching / C–X stretching	Metal oxides / Halo compounds

The FT-IR spectroscopic analysis verified the presence of various functional groups capping the surface of the biosynthesized iron nanoparticles (**Table 2**). The absorption bands observed in the higher frequency region, particularly around 3833.79–3274.54 cm⁻¹, correspond to the stretching vibrations of hydroxyl (O–H) and amine/amide (N–H) groups, which are characteristic of bacterial proteins and carbohydrates.

The distinct peak at 1643.05 cm⁻¹ is attributed to the C=C or C=N stretching modes, suggesting the involvement of microbial metabolites in the stabilizing processes. Crucially, the lower frequency band at 589.97 cm⁻¹ confirms the successful formation of the metal-oxygen (Fe–O) bond, establishing the definitive chemical synthesis of iron oxide nanoparticles by *P. aeruginosa*.

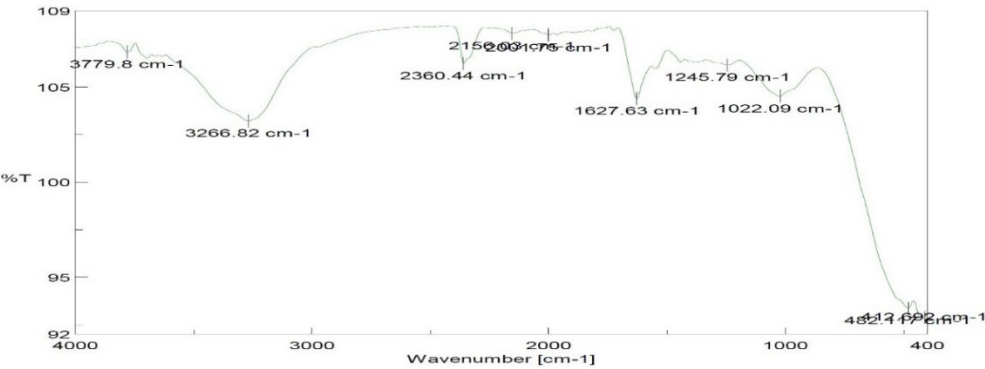


Figure 3. FT-IR spectrum of the synthesized iron nanoparticles (FeNPs) displaying key functional groups and their corresponding absorption bands

Scanning electron microscopy (SEM) analysis

The shape, size distribution, and surface morphology of the synthesized nanoparticles were evaluated using scanning electron microscopy (SEM). The electron micrographs of the iron nanoparticles revealed a variety

of morphologies; however, a spherical shape was predominantly observed. The particle sizes were found to range around a representative value of $D_1 = 22.83$ nm, as shown in **Figure 4**.

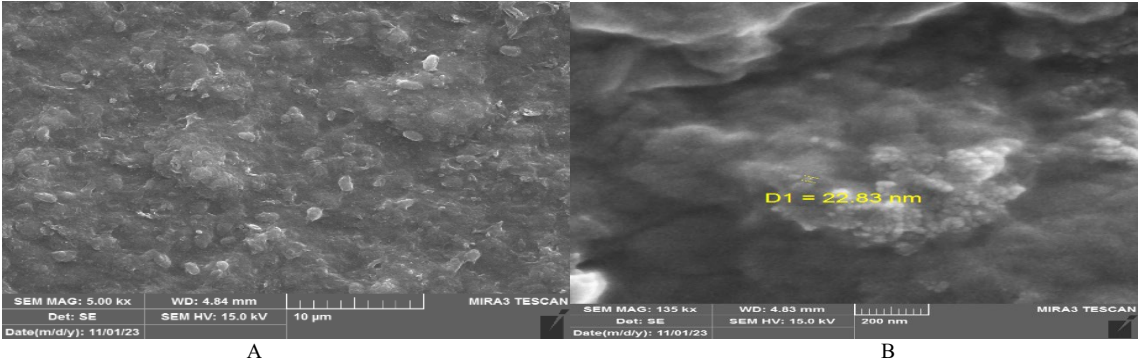


Figure 4. SEM micrographs of the biosynthesized iron nanoparticles (FeNPs) produced by *Pseudomonas aeruginosa*: A – low-magnification view showing surface topography and particle agglomeration, and B – high-magnification view demonstrating a representative spherical nanoparticle with a measured individual diameter of $D_1 = 22.83$ nm

The SEM images demonstrated that the nanoparticles possess a smooth surface topography with a relatively uniform spherical shell structure. The observed enlargement or agglomeration of certain smaller particles might be attributed to the high thermal conditions during processing. At lower temperatures, the precursor units tend to establish stronger cohesive bonds, which subsequently drives the assembly into well-defined spherical shell formations. The morphological findings obtained in this current study align with the results previously reported by [7].

Molecular Identification

Molecular identification of the bacterial isolates was carried out using the polymerase chain reaction (PCR) targeting the 16S rRNA gene, a highly conserved genetic marker commonly utilized in bacterial taxonomy and phylogenetic analysis [41]. Following genomic DNA extraction, agarose gel electrophoresis confirmed the presence of intact genomic DNA, as evidenced by clear and distinct bands.

The 16S rRNA gene was successfully amplified using specific primers, and the resulting PCR products were analyzed via agarose gel electrophoresis and compared against a DNA ladder (molecular weight marker). As shown in **Figure 5**, the results revealed a distinct band at approximately 1400 base pairs (bp), which is highly consistent with the expected size of the 16S rRNA gene fragment. These molecular findings align with the results reported in previous studies [42, 43].



Figure 5. Agarose gel electrophoresis (1 %) showing PCR amplification products of the bacterial 16S rRNA gene. Lane DNA ladder: 200–3000 bp molecular weight marker; Lanes M1, M2, M3, and M4: positive bacterial isolates displaying the expected amplicon product length of approximately 1400 bp

The success of the genomic amplification was visually confirmed via agarose gel electrophoresis (**Figure 5**). As illustrated, all four analyzed bacterial isolates (Lanes M1–M4) exhibited a single, sharp, and highly intense band. The migration distance of these PCR products, when compared against the 3000 bp DNA ladder, corresponded precisely to the expected molecular weight of approximately 1400 bp. The absence of non-specific amplification or primer-dimer bands indicates the high specificity of the utilized primers and the purity of the extracted template DNA, definitively confirming the taxonomic suitability of the isolates for further 16S rRNA sequencing.

Screening of biofilm-forming bacteria via Congo Red Agar assay

The four pathogenic bacterial isolates (*P. aeruginosa*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, and *S. aureus*) were cultured on Congo red agar (CRA) medium to evaluate their phenotypic capacity for biofilm formation. This screening method relies on the specific chemical interaction between the exopolysaccharide (EPS) components of the extracellular biofilm matrix and the Congo red dye. The development of distinct black colonies indicates robust, strong biofilm production. Furthermore, the intensity of this black coloration directly reflects a high level of extracellular polysaccharide synthesis and matrix secretion, as systematically illustrated in **Figure 6**.

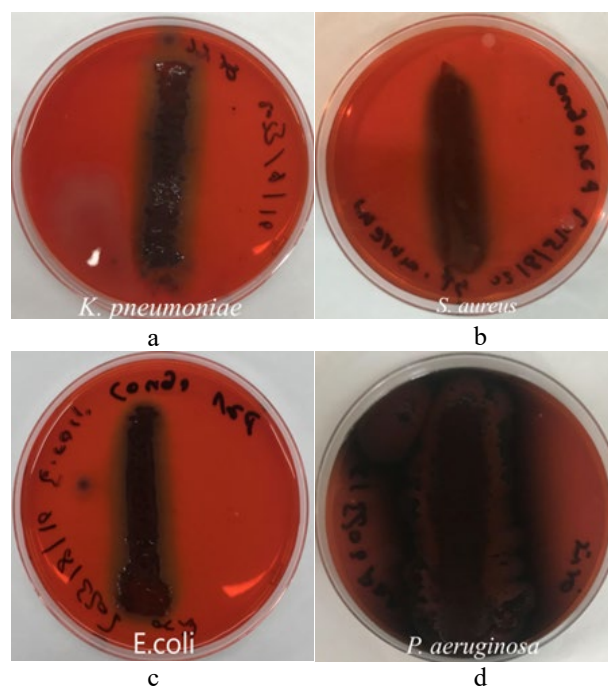


Figure 6. Phenotypic screening of biofilm-forming bacteria on Congo red agar (CRA) medium, demonstrating characteristic black colonies due to robust exopolysaccharide production in:

a – *Klebsiella pneumoniae*, b – *Staphylococcus aureus*, c – *Escherichia coli*, and d – *Pseudomonas aeruginosa*

The phenotypic screening on Congo red agar (CRA) plates confirmed that all four examined pathogenic isolates possess robust biofilm-forming capabilities (**Figure 6**). *P. aeruginosa* (**Figure 6d**) exhibited the most intense, deep black coloration with a dry, crystalline colony morphology, indicating an exceptionally high rate of exopolysaccharide (EPS) secretion. This was closely followed by *K. pneumoniae* (**Figure 6a**) and *E. coli* (**Figure 6c**), both of which developed distinct, dark black streaks due to active interaction with the Congo red dye. The Gram-positive pathogen *S. aureus* (**Figure 6b**) also formed prominent dark brownish-black colonies, confirming its ability to synthesize extracellular matrix components. These qualitative macroscopic observations demonstrate that all four strains are active biofilm producers, establishing a solid baseline for subsequent quantitative evaluations and nanoparticle treatment assays.

Quantitative determination of biofilm formation via Microtiter Plate (MTP) assay

The quantitative evaluation of biofilm formation by the four pathogenic bacterial isolates was performed using the microtiter plate (MTP) assay. The spectrophotometric

results demonstrated that all four isolates possessed a strong capacity to produce high-density biofilms, as summarized in **Table 3**. All tested strains significantly exceeded the threshold for strong biofilm production ($A > 2 \times A_C$).

Table 3

Quantitative classification of biofilm formation by the pathogenic isolates using the Microtiter Plate (MTP) assay

Bacterial species	Control absorbance (A_C)	Isolate absorbance (A)	Mathematical condition	Biofilm intensity
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	0.098	1.136	$1.136 > 2 \times 0.098$	Strong
<i>Escherichia coli</i>	0.075	1.513	$1.513 > 2 \times 0.075$	Strong
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	0.097	1.165	$1.165 > 2 \times 0.097$	Strong
<i>Staphylococcus aureus</i>	0.108	1.329	$1.329 > 2 \times 0.108$	Strong

The quantitative spectrophotometric data confirmed a highly significant shift in optical density values compared to the negative controls (**Table 3**). All four tested pathogens demonstrated an outstanding capacity for architectural cell attachment, with absorbance values (A) exceeding the strict threshold for strong biofilm production by up to 10-fold to 20-fold. Notably, *Escherichia coli* exhibited the highest optical accumulation value ($A = 1.513$), followed closely by *Staphylococcus aureus* ($A = 1.329$). These quantitative results strongly support current global microbiologic reports highlighting the clinical persistence of these high-priority strains due to their stable extracellular polymeric matrices. The robust baseline formation rates observed across both Gram-negative and Gram-positive isolates underscore the urgent need for innovative non-antibiotic intervention strategies, such as target-delivered nanomaterials and bio-inspired metallic complexes.

Evaluation of biofilm inhibition by synthesized iron nanoparticles (FeNPs)

The current study demonstrated a robust, concentration-dependent inhibitory effect of the biosynthesized iron nanoparticles (FeNPs) against the biofilm-forming bacterial isolates. As summarized in **Table 4**, the highest biofilm inhibition rate was achieved against *S. aureus*, reaching 91.64 % at a nanoparticle concentration of 100 $\mu\text{g/mL}$, while the lowest inhibition for the same pathogen was 89.69 % at 50 $\mu\text{g/mL}$. Similar concentration-dependent trends were recorded for *P. aeruginosa* (91.48 % at 100 $\mu\text{g/mL}$ and 90.19 % at 50 $\mu\text{g/mL}$), *E. coli* (91.61 % at 100 $\mu\text{g/mL}$ and 90.21 % at 50 $\mu\text{g/mL}$), and *K. pneumoniae* (91.22 % at 100 $\mu\text{g/mL}$ and 89.91 % at 50 $\mu\text{g/mL}$).

Table 4

Biofilm inhibition rates (%) of pathogenic bacterial isolates treated with different concentrations of biosynthesized FeNPs

Bacterial species	100 $\mu\text{g/mL}$	50 $\mu\text{g/mL}$
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	91.48 %	90.19 %
<i>Escherichia coli</i>	91.61 %	90.21 %
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	91.22 %	89.91 %
<i>Staphylococcus aureus</i>	91.64 %	89.69 %

The observed variations in biofilm inhibition among these pathogenic species may be attributed to distinct differences in cell wall structures, extracellular polymeric substance (EPS) composition, and individual

susceptibility to nanoparticle interactions [44]. Oxidative stress induced by metal oxides is widely recognized as the primary mechanism underlying the antimicrobial and antibiofilm activities of iron oxide nanoparticles. These FeNPs typically carry a net positive surface charge, whereas the surfaces of bacterial cells are net-negatively charged. This electrostatic attraction significantly enhances the adhesion of the nanoparticles to the bacterial cell envelope, subsequently promoting cell membrane rupture, the localized generation of reactive oxygen species (ROS), irreversible damage to intracellular components, and ultimately, bacterial cell death [45].

Antimicrobial activity of biosynthesized iron nanoparticles (FeNPs)

The biosynthesized iron nanoparticles (FeNPs) demonstrated distinct, dose-dependent antibacterial activity against all tested pathogenic isolates, with the diameters of the inhibition zones increasing proportionally with nanoparticle concentration (**Table 5**). Representative agar plates illustrating this concentration-dependent expansion of the inhibition zones (at 25, 50, 75, and 100 $\mu\text{g/mL}$) across the four pathogenic strains are presented in **Figure 7a–d**, respectively. The most potent inhibitory effect was observed against *P. aeruginosa*, where the zone of inhibition reached a maximum of 21 mm at a concentration of 100 $\mu\text{g/mL}$. Conversely, *E. coli* exhibited the lowest sensitivity, with a minimum inhibition zone of 12 mm recorded at a concentration of 25 $\mu\text{g/mL}$.

Table 5

Zones of inhibition (mm) of biosynthesized FeNPs against the tested pathogenic bacteria

Pathogenic bacteria	25 $\mu\text{g/mL}$	50 $\mu\text{g/mL}$	75 $\mu\text{g/mL}$	100 $\mu\text{g/mL}$
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	14.5	15.5	19.6	21.0
<i>Escherichia coli</i>	12.0	12.7	14.0	14.5
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	13.2	14.5	15.6	17.0
<i>Staphylococcus aureus</i>	14.0	15.0	15.0	16.0

A clear concentration-dependent expansion of the inhibition zones was evident across all tested isolates. For *P. aeruginosa*, the zones of inhibition increased from 14.5 mm (at 25 $\mu\text{g/mL}$) to 21 mm (at 100 $\mu\text{g/mL}$), representing an increase of approximately 44.8 %. *K. pneumoniae* demonstrated a 28.3 % increase (from 13.25 mm to 17 mm), while *E. coli* recorded a relative increase of 20.8 % (from 12 mm to 14.5 mm). *S. aureus*

exhibited the smallest relative increase of 14.3 %, with zones expanding from 14 mm to 16 mm.

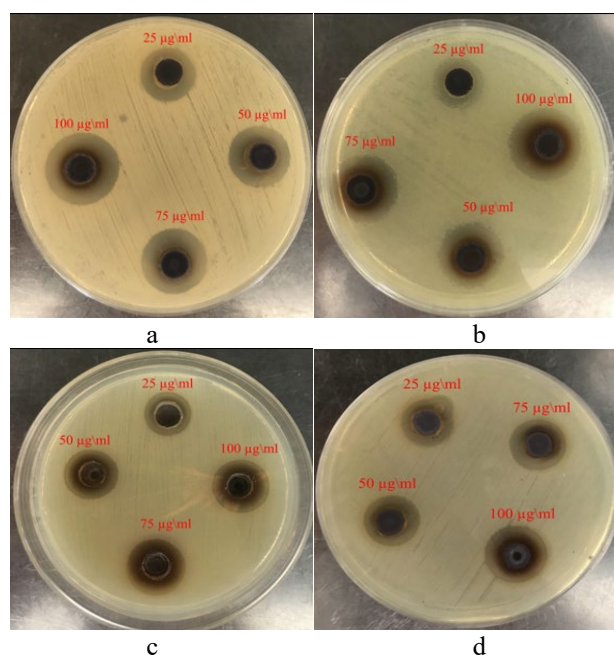


Figure 7. Zones of inhibition demonstrating the concentration-dependent antibacterial activity of FeNPs against the tested pathogenic bacteria in: a – *Klebsiella pneumoniae*, b – *Staphylococcus aureus*, c – *Escherichia coli*, and d – *Pseudomonas aeruginosa*

Variations in susceptibility among the bacterial isolates may be attributed to distinct differences in cell wall architecture, membrane permeability, metabolic activity, and unique genetic determinants that influence cellular stress-response mechanisms, as discussed by [46]. Specifically, Gram-negative bacteria possess an outer lipopolysaccharide membrane that can strictly modulate nanoparticle penetration, whereas Gram-positive bacteria lack this outer membrane but feature a significantly thicker, highly cross-linked peptidoglycan layer that directly influences nanoparticle interaction dynamics [47]. Furthermore, FeNP-induced antibacterial activity is deeply linked to metal-driven oxidative stress mechanisms, cell envelope disruption, and subsequent interference with essential intracellular enzymatic pathways [48].

Statistical analysis was performed by presenting the quantitative data as mean $\pm$ standard deviation (SD) derived from three independent replicates. A one-way analysis of variance (ANOVA) was subsequently applied to compare the inhibition zones across the different concentrations for each bacterial species, followed by Tukey's Honestly Significant Difference (HSD) post-hoc test to evaluate pairwise differences between specific concentrations. Based on the concentration-dependent trends, the antibacterial inhibition achieved at 75 and 100 $\mu\text{g/mL}$ was significantly greater ($p < 0.05$) than that observed at 25 $\mu\text{g/mL}$. Furthermore, interspecies comparisons at the 100 $\mu\text{g/mL}$ concentration revealed statistically significant differences, particularly between the highly susceptible *P. aeruginosa* and the less sensitive *E. coli*.

Conclusions

This study documented the successful green synthesis of iron nanoparticles (FeNPs) using *Pseudomonas aeruginosa* isolated from soil samples. The successful formation and optical properties of the biogenic FeNPs were confirmed by UV-visible spectroscopy with a distinct absorption peak at 304 nm, while FT-IR analysis definitively verified the presence of the characteristic metal-oxygen (Fe–O) bond at 589.97 cm^{-1} along with stabilizing bacterial biomolecules. Scanning electron microscopy (SEM) confirmed a predominantly spherical morphology with a representative particle diameter of 22.83 nm.

The biosynthesized nanoparticles demonstrated exceptional concentration-dependent antibacterial and antibiofilm activities against high-priority pathogens (*P. aeruginosa*, *E. coli*, *K. pneumoniae*, and *S. aureus*). The quantitative microtiter plate assay revealed robust antibiofilm efficacy, reaching a maximum eradication rate of 91.64 % against *S. aureus* at 100 $\mu\text{g/mL}$. Furthermore, the agar well diffusion test demonstrated substantial growth inhibition zones of up to 21.0 mm against *P. aeruginosa*. Taken together, these definitive findings indicate the high potential of biosynthesized iron nanoparticles to serve as highly effective, biocompatible, and environmentally friendly nano-antimicrobials for controlling multi-drug resistant pathogens and mitigating persistent biofilm-associated infections.

DECLARATIONS

Ethical Statement

The authors declare that this study did not involve any human participants, clinical specimens, or vertebrate animal subjects. All experimental procedures were conducted strictly using bacterial strains isolated from environmental soil samples. Therefore, formal institutional ethical review and approval were not required for this investigation.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The author declares that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

- Jin, S. (2024). *Pseudomonas aeruginosa*. In Y.-W. Tang, M. Sussman, D. Liu, I. Poxton, & J. Schwartzman (Eds.), *Molecular medical microbiology* (3rd ed., pp. 811–825). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818619-0.00064-2>
- Kuraimsh, K. K. (2025). Prevalence of resistance to antimicrobial agents by *Pseudomonas aeruginosa* and *Acinetobacter baumannii* isolated from Iraqi patients with burns at Al-Nasiriya Hospital. *Journal of the Faculty of Medicine Baghdad*, 67 (4), 447–456. <https://doi.org/10.32007/jfacmedbaghdad3204>

3. Khan, F., Jeong, G.-J., Singh, P., Tabassum, N., Mijakovic, I., & Kim, Y.-M. (2022). Retrospective analysis of the key molecules involved in the green synthesis of nanoparticles. *Nanoscale*, 14 (40), 14824–14857. <https://doi.org/10.1039/d2nr03632k>
4. Dutt, Y., Pandey, R. P., Dutt, M., Gupta, A., Vibhuti, A., Vidic, J., Raj, V. S., Chang, C.-M., & Priyadarshini, A. (2023). Therapeutic applications of nanobiotechnology. *Journal of Nanobiotechnology*, 21 (1). <https://doi.org/10.1186/s12951-023-01909-z>
5. Tabassum, N., Khan, F., Kang, M.-G., Jo, D.-M., Cho, K.-J., & Kim, Y.-M. (2023). Inhibition of polymicrobial biofilms of *Candida albicans* – *Staphylococcus aureus*/*Streptococcus mutans* by fucoidan–gold nanoparticles. *Marine Drugs*, 21 (2), 123. <https://doi.org/10.3390/md21020123>
6. Singh, P., Pandit, S., Beshay, M., Mokkapati, V. R. S. S., Garnaes, J., Olsson, M. E., Sultan, A., Mackevica, A., Mateiu, R. V., Lütken, H., Daugaard, A. E., Baun, A., & Mijakovic, I. (2018). Anti-biofilm effects of gold and silver nanoparticles synthesized by the *Rhodiola rosea* rhizome extracts. *Artificial Cells, Nanomedicine, and Biotechnology*, 46 (sup3), 886–899. <https://doi.org/10.1080/21691401.2018.1518909>
7. Khan, A. A., Khan, S., Khan, S., Rentschler, S., Laufer, S., & Deigner, H.-P. (2021). Biosynthesis of iron oxide magnetic nanoparticles using clinically isolated *Pseudomonas aeruginosa*. *Scientific Reports*, 11 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99814-8>
8. Asoso, O. S., Idris, O. O., Ayodele, O. S., & Laoye, B. J. (2022). Isolation and identification of bacteria and fungi associated with tomatoes. *Medical & Clinical Research*, 7 (6), 1–11. <https://doi.org/10.33140/mcr.07.06.02>
9. Sambrook, J., & Russell, D. W. (2006). Purification of nucleic acids by extraction with phenol: Chloroform. *Cold Spring Harbor Protocols*, 2006 (1), pdb. <https://doi.org/10.1101/pdb.prot4455>
10. Leszczewicz, M., Broncel, N., Frączak, O., Kapela, T., & Makowski, K. (2025). Screening of moderately halophilic bacteria producing ectoine resulting in selection of *Virgibacillus salarius* BHTA19. *Food Technology and Biotechnology*, 63 (3), 310. <https://doi.org/10.17113/ftb.63.03.25.8727>
11. Shenoy, V., Harika, K., Narasimhaswamy, N., & Chawla, K. (2020). Detection of biofilm production and its impact on antibiotic resistance profile of bacterial isolates from chronic wound infections. *Journal of Global Infectious Diseases*, 12 (3), 129–134. https://doi.org/10.4103/jgid.jgid_150_19
12. Almeida, C., Azevedo, N. F., Santos, S., Keevil, C. W., & Vieira, M. J. (2011). Discriminating multi-species populations in biofilms with peptide nucleic acid fluorescence *in situ* hybridization (PNA FISH). *PLoS ONE*, 6 (3), e14786. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014786>
13. Tang, J., Kang, M., Chen, H., Shi, X., Zhou, R., Chen, J., & Du, Y. (2011). The staphylococcal nuclease prevents biofilm formation in *Staphylococcus aureus* and other biofilm-forming bacteria. *Science China Life Sciences*, 54 (9), 863–869. <https://doi.org/10.1007/s11427-011-4195-5>
14. Kamnev, A. A., Dyatlova, Y. A., Kenzhegulov, O. A., Vladimirova, A. A., Mamchenkova, P. V., & Tugarova, A. V. (2021). Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopic analyses of microbiological samples and biogenic selenium nanoparticles of microbial origin: Sample preparation effects. *Molecules*, 26 (4), 1146. <https://doi.org/10.3390/molecules26041146>
15. Ashrafi-Saiedlou, S., Rasouli-Sadaghiani, M., Fattahi, M., & Ghosha, Y. (2025). Biosynthesis and characterization of iron oxide nanoparticles fabricated using cell-free supernatant of *Pseudomonas fluorescens* for antibacterial, antifungal, antioxidant, and photocatalytic applications. *Scientific Reports*, 15 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84974-0>
16. Mathur, T., Singhal, S., Khan, S., Upadhyay, D., Fatma, T., & Rattan, A. (2006). Detection of biofilm formation among the clinical isolates of Staphylococci: An evaluation of three different screening methods. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 24 (1), 25. <https://doi.org/10.4103/0255-0857.19890>
17. Majumdar, M., Khan, S. A., Nandi, N. B., Roy, S., Panja, A. S., Roy, D. N., & Misra, T. K. (2020). Green synthesis of iron nanoparticles for investigation of biofilm inhibition property. *ChemistrySelect*, 5 (43), 13575–13583. <https://doi.org/10.1002/slct.202003033>
18. Kamble, S., Bhosale, K., Mohite, M., & Navale, S. (2023). Methods of preparation of nanoparticles. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 3 (7), 121–126. <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-9485>
19. Huseen, R., Taha, A., & Abdullhusein, O. (2021). Study of biological activities of magnetic iron oxide nanoparticles prepared by co-precipitation method. *Journal of Applied Sciences and Nanotechnology*, 1 (2), 37–48. <https://doi.org/10.53293/jasn.2021.11635>
20. Aghamollaci, H., Moghaddam, M. M., Kooshki, H., Heiat, M., Mirnejad, R., & Barzi, N. S. (2015). Detection of *Pseudomonas aeruginosa* by a triplex polymerase chain reaction assay based on lasI/R and gyrB genes. *Journal of Infection and Public Health*, 8 (4), 314–322. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2015.03.003>
21. Kridi, N., Al-Shater, M. S., & Al Zoubi, M. M. (2021). Isolation and identification of some bacterial isolates from soil contaminated with crude oil and Testing Their Effectiveness. *Baghdad Science Journal*, 18 (4). [https://doi.org/10.21123/bsj.2021.18.4\(suppl.\).1476](https://doi.org/10.21123/bsj.2021.18.4(suppl.).1476)
22. Ali, A. A., Hameed, K. W., & Nadder, M. I. (2022). Isolation of *Pseudomonas aeruginosa* from soil and production of lipase enzyme. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 961 (1), 012087. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/961/1/012087>
23. Podschun, R., & Ullmann, U. (1998). *Klebsiella* spp. as nosocomial pathogens: Epidemiology, taxonomy, typing methods, and pathogenicity factors. *Clinical Microbiology Reviews*, 11 (4), 589–603. <https://doi.org/10.1128/cmr.11.4.589>
24. Wyres, K. L., & Holt, K. E. (2016). *Klebsiella pneumoniae* population genomics and antimicrobial-resistant clones. *Trends in Microbiology*, 24 (12), 944–956. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2016.09.007>
25. Yang, F., Deng, B., Liao, W., Wang, P., Chen, P., & Wei, J. (2019). High rate of multiresistant *Klebsiella pneumoniae* from human and animal origin. *Infection and Drug Resistance*, 12, 2729–2737. <https://doi.org/10.2147/idr.s219155>
26. Chi, X., Berglund, B., Zou, H., Zheng, B., Börjesson, S., Ji, X., Ottoson, J., Lundborg, C. S., Li, X., & Nilsson, L. E. (2019). Characterization of clinically relevant strains of extended-spectrum β -lactamase-producing *Klebsiella pneumoniae* occurring in environmental sources in a rural area of China by using whole-genome sequencing. *Frontiers in Microbiology*, 10, 211. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00211>
27. Kämpfer, P., & Glaeser, S. P. (2013). Prokaryote characterization and identification. In E. Rosenberg, E. F. DeLong, S. Lory, E. Stackebrandt, & F. Thompson (Eds.), *The Prokaryotes: Prokaryotic biology and symbiotic associations* (4th ed., pp. 123–147). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-30194-0_6
28. Rocha, J., Henriques, I., Gomila, M., & Manaia, C. M. (2022). Common and distinctive genomic features of *Klebsiella pneumoniae* thriving in the natural environment or in clinical settings. *Scientific Reports*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14547-6>
29. Verheijen, F., Jelinčić, A., Jeffery, S., Domingos, T., Khodaparast, Z., & Bastos, A. C. (2025). Correction: *Escherichia coli* thrives in soil 24 months after grazing exclusion in a rainfed Mediterranean biodiverse pasture. *Frontiers in Environmental Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2025.1708183>
30. Murphy, C. M., Weller, D. L., Bardsley, C. A., Ingram, D. T., Chen, Y., Oryang, D., Rideout, S. L., & Strawn, L. K. (2024). Survival of twelve pathogenic and generic *Escherichia coli* strains in agricultural soils as influenced by strain, soil type, irrigation regimen, and soil amendment. *Journal of Food Protection*, 87 (10), 100343. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2024.100343>
31. Gerken, T., Wiegner, T. N., & Economy, L. M. (2022). A comparison of soil *Staphylococcus aureus* and fecal indicator bacteria concentrations across land uses in a Hawaiian watershed. *Journal of Environmental Quality*, 51 (5), 916–929. <https://doi.org/10.1002/jeq2.20380>
32. Mahapatra, S., Yadav, R., & Ramakrishna, W. (2022). *Bacillus subtilis* impact on plant growth, soil health and environment: Dr. Jekyll and Mr. Hyde. *Journal of Applied Microbiology*, 132 (5), 3543–3562. <https://doi.org/10.1111/jam.15480>
33. Foysal, M. J., & Lisa, A. K. (2018). Isolation and characterization of *Bacillus* sp. strain BC01 from soil displaying potent antagonistic activity against plant and fish pathogenic fungi and bacteria. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 16 (2), 387–392. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2018.01.005>

34. Al-Mojamasee, N. A. H., & Altaii, H. A. J. (2023). Comparison of two methods for the detection of *Pseudomonas aeruginosa* biofilm formation isolated from different clinical samples. *Iraqi Journal of Humanities and Social Science Research*, 11 (3), 651–668.
35. Basavaraju, M., & Gunashree, B. S. (2022). *Escherichia coli*: An overview of main characteristics. In M. S. Erjavec (Ed.), *Escherichia coli: Old and new insights* (pp. 1–18). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105508>
36. Abbas, R., Chakkour, M., Zein El Dine, H., Obaseki, E. F., Obeid, S. T., Jezzini, A., Ghssein, G., & Ezzeddine, Z. (2024). General overview of *Klebsiella pneumoniae*: Epidemiology and the role of siderophores in its pathogenicity. *Biology*, 13 (2), 78. <https://doi.org/10.3390/biology13020078>
37. Todorova, S., & Kozhuharova, L. (2009). Characteristics and antimicrobial activity of *Bacillus subtilis* strains isolated from soil. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 26 (7), 1207–1216. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-0290-1>
38. Stecchini, M. L., Spaziani, M., Torre, M. D., & Pacor, S. (2009). *Bacillus cereus* cell and spore properties as influenced by the micro-structure of the medium. *Journal of Applied Microbiology*, 106 (6), 1838–1848. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2009.04162.x>
39. Silva-Santana, G., Cabral-Oliveira, G. G., Oliveira, D. R., Nogueira, B. A., Pereira-Ribeiro, P. M. A., & Mattos-Guaraldi, A. L. (2020). *Staphylococcus aureus* biofilms: an opportunistic pathogen with multidrug resistance. *Reviews in Medical Microbiology*, 32 (1), 12–21. <https://doi.org/10.1097/mrm.0000000000000223>
40. Hajiali, S., Daneshjou, S., & Daneshjoo, S. (2022). Biomimetic synthesis of iron oxide nanoparticles from *Bacillus megaterium* to be used in hyperthermia therapy. *AMB Express*, 12 (1). <https://doi.org/10.1186/s13568-022-01490-y>
41. Qurban, A., & Ameen, A. (2020). Bacterial identification by 16S ribotyping: A review. *Biotechnology: An Indian Journal*, 16 (2), 204.
42. Prashanthi, R., Shreevatsa, G. K., Krupalini, S., & Manoj, L. (2021). Isolation, characterization, and molecular identification of soil bacteria showing antibacterial activity against human pathogenic bacteria. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 19 (1), 120. <https://doi.org/10.1186/s43141-021-00219-x>
43. Al-Dhabaan, F. A. (2019). Morphological, biochemical and molecular identification of petroleum hydrocarbons biodegradation bacteria isolated from oil polluted soil in Dhahran, Saud Arabia. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26 (6), 1247–1252. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2018.05.029>
44. Singh, B., Dahiya, M., Kumar, V., Ayyagari, A., Chaudhari, D. N., & Ahire, J. J. (2025). Biofilm and antimicrobial resistance: Mechanisms, implications, and emerging solutions. *Microbiology Research*, 16 (8), 183. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16080183>
45. Shkodenko, L., Kassirov, I., & Koshel, E. (2020). Metal oxide nanoparticles against bacterial biofilms: Perspectives and limitations. *Microorganisms*, 8 (10), 1545. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8101545>
46. Dawan, J., & Ahn, J. (2022). Bacterial stress responses as potential targets in overcoming antibiotic resistance. *Microorganisms*, 10 (7), 1385. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10071385>
47. Carnero Canales, C. S., Marquez Cazorla, J. I., Marquez Cazorla, R. M., Sábio, R. M., Santos, H. A., & Pavan, F. R. (2025). Combating Gram-negative infections: The role of antimicrobial peptides and nanotechnology in overcoming antibiotic resistance. *Materials Today Bio*, 35, 102381. <https://doi.org/10.1016/j.mtbio.2025.102381>
48. Zhang, T.-G., & Miao, C.-Y. (2024). Iron oxide nanoparticles as promising antibacterial agents of new generation. *Nanomaterials*, 14 (15), 1311. <https://doi.org/10.3390/nano14151311>

ORCID

- | | |
|--|---|
| I. J. Abbass  | https://orcid.org/0000-0003-0791-6778 |
| E. A. Al-Imara  | https://orcid.org/0000-0002-7765-8332 |
| D. A. Alhasan  | https://orcid.org/0000-0002-6992-5525 |



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Reproductive capacity of bee queens and bee productivity under germanium citrate supplementation

I. Kovalchuk  | T. Khymynets

Article info

Correspondence Author

I. Kovalchuk

E-mail:

irenakovalchuk@ukr.netStepan Gzhytskyi National
University of Veterinary
Medicine and
Biotechnologies,
50, Pekarska str., Lviv,
79010, Ukraine**Citation:** Kovalchuk, I., & Khymynets, T. (2026). Reproductive capacity of bee queens and bee productivity under germanium citrate supplementation. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 255–260. doi: 10.31210/spi2026.29.01.39

This research paper provides a detailed analysis of the effectiveness of using innovative trace-element supplements in beekeeping to stimulate the biological potential of bees and improve the quality of the products obtained. The study was conducted on Carpathian honeybees at a private apiary in the Zakarpattia Oblast during the fall and spring seasons. The experiment was conducted on two groups of comparable bee colonies, with five colonies in each group. Bees in the first control group were fed 60 % sugar syrup at a rate of 2 L per colony per week. The bees in the second experimental group additionally received 0.1 µg/mL of Ge in the form of citrate, produced using nanotechnology by Nanomaterials and Nanotechnologies LLC in Kyiv. The egg-laying intensity of queen bees was determined by counting the number of sealed brood using a mesh frame, while the following quality parameters were analyzed in honey samples: proline content, diastase activity, water content, and pH. During the study period, queen bees in the control and experimental groups laid 47,993 and 50,685 eggs, respectively. Clear intergroup differences in egg-laying were observed: the number of eggs laid per day in the experimental group was 2.3 % higher than in the control group over the experimental period, and at the peak of the second stage, the total number of eggs was 10.7 % higher than in the control group ($p < 0.05$). The results of the spring inspection indicated an increase in colony survival to 100% compared to 90% in the control group, a 1.6-fold increase in colony strength to 6.67 frames compared to 4.25 in the control group ($p < 0.01$), and a nearly twofold decrease in the weight of dead bees to 100.0 g compared to 195.2 g ($p < 0.01$). Nanotechnology-based supplementation resulted in a statistically significant increase in the physicochemical parameters of honey: the proline content rose to 346.46 mg/kg compared to 312.85 mg/kg ($p < 0.001$), and the diastase number increased to 11.20 Gothe units compared to 10.50 Gothe units ($p < 0.05$), and the mass fraction of water decreased to 17.04 % compared to 18.13 % in the control group. The organoleptic characteristics of the honey complied with the standards of DSTU 4497:2005. The results obtained confirm the feasibility of using germanium citrate to stimulate the vital activity of bee colonies, enhance the reproductive capacity of queens, and increase the yield of marketable honey by 6.0 kg per colony.

Keywords: bees, germanium citrate, reproductive capacity, egg laying, productivity, honey, nanotechnology.

Репродуктивна здатність бджолиних маток та продуктивність бджіл за підгодовлі германію цитрату

I. I. Ковальчук | Т. М. Химинець

Львівський національний
університет ветеринарної
медицини та біотехнологій
імені С.З. Гжицького,
м. Львів, Україна

У цій науковій роботі детально проаналізовано ефективність використання інноваційних мікроелементних добавок у бджільництві для стимулювання біологічного потенціалу комах та підвищення якості отриманої продукції. Дослідження проведені на медоносних бджолах карпатської породи в приватному пасічницькому господарстві Закарпатської області в осінньо-весняний період. Експеримент виконано на двох групах бджолосімей-аналогів, по п'ять сімей у кожній групі. Бджоли контрольної першої групи отримували підгодовлю з 60 % цукрового сиропу в кількості 2 л/сім'ю/тиждень. Бджоли другої дослідної групи додатково отримували 0,1 мкг/мл Ge у вигляді цитрату, отриманого методом нанотехнології від ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології» м. Київ. Показники інтенсивності яйцекладки бджолиних маток визначали методом підрахунку кількості печатного розплоду за допомогою рамки-сітки, а у зразках меду досліджували такі якісні показники, як вміст проліну, діастазна активність, масова частка води та pH. За обліковий період досліджень бджолиними матками контрольної та дослідної груп відкладено відповідно 47 993 та 50 685 яєць. Відзначено чіткі міжгрупові різниці в яйцекладці, де кількість відкладених яєць за добу в дослідній групі за експериментальний період була вищою на 2,3 %, а на піковому другому етапі перевищення загальної кількості яєць становило 10,7 % порівняно з контролем ($p < 0,05$). Результати весняної ревізії вказали на підвищення збереженості сімей до 100 % проти 90 % у контролі, збільшення сили колоній у 1,6 раза до 6,67 вуликів проти 4,25 у контролі ($p < 0,01$) та зниження маси підмору майже вдвічі до 100,0 г проти 195,2 г ($p < 0,01$). Нанотехнологічна підгодівля зумовлювала вірогідне підвищення фізико-хімічних показників меду: вміст проліну зріс до 346,46 мг/кг проти 312,85 мг/кг ($p < 0,001$), діастазне число – до 11,20 од. Готе проти 10,50 од. Готе ($p < 0,05$), а масова частка води знизилася до 17,04 % порівняно з 18,13 % у контролі. Органолептичні показники меду відповідали нормам ДСТУ 4497:2005. Отримані результати підтверджують доцільність використання цитрату Ge для стимулювання життєдіяльності бджолиних сімей, підвищення репродуктивної здатності маток та збільшення збору товарного меду на 6,0 кг на одну сім'ю.

Ключові слова: бджоли, цитрат германію, репродуктивна здатність, яйцекладка, продуктивність, мед, нанотехнології.**Бібліографічний опис для цитування:** Ковальчук І. І., Химинець Т. М. Репродуктивна здатність бджолиних маток та продуктивність бджіл за підгодовлі германію цитрату. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 255–260.

Вступ

Життєздатність та продуктивність бджолої сім'ї формуються під впливом комплексу взаємопов'язаних зовнішніх і внутрішніх чинників. До зовнішніх належать кліматичні умови, різноманіття медоносних і пилюконосних рослин, що забезпечують повноцінну кормову базу, а також екологічні параметри, які визначають якість середовища існування. Внутрішні чинники охоплюють фізіологічний стан маток, силу та структуру сім'ї, рівень імунної резистентності та здатність до адаптації [4, 6, 8, 10].

Сучасні технології утримання та розведення бджіл відіграють ключову роль у забезпеченні їхньої продуктивності та життєздатності. Вони передбачають оптимізацію годівлі, використання білково-жирових добавок, підтримання належного санітарно-гігієнічного стану у вуликах, а також застосування селекційних методів для підвищення репродуктивних якостей маток. Поєднання цих чинників створює умови для стабільного розвитку бджолиних сімей і забезпечує високу результативність у виробництві бджолопродукції.

Суттєвим чинником інтенсивного розвитку бджолиних сімей та нарощування їхньої сили у весняний період є забезпечення бджолиного гнізда достатніми запасами не лише меду як основного джерела вуглеводів, а й повноцінних білків та ліпідів, що містяться у перзі [16, 19]. Найбільш цінним джерелом поживних речовин для бджіл є пилок медоносних рослин, який відзначається високим вмістом протеїнів, незамінних амінокислот, ліпідів, а також комплексом мікро- та макроелементів.

Водночас у сучасному бджільництві дедалі ширше застосовують білково-жирові добавки на основі натуральних компонентів та окремі біогенні мінеральні елементи як альтернативу перзі. Такі підходи сприяють стимулюванню розвитку бджолиних сімей і забезпечують підтримання репродуктивної активності маток. Інтенсивність яйцекладки бджолиних маток визначається не лише наявністю нектару, а й надходженням рослинного пилю до їхнього раціону. Пилок характеризується високим вмістом протеїнів, незамінних амінокислот, ліпідів, макро- та мікроелементів і вітамінів, що позитивно впливає на фізіолого-біохімічні процеси в організмі медоносних бджіл і стимулює репродуктивну активність маток. Водночас природно-кліматичні умови різних регіонів не завжди забезпечують достатнє різноманіття пилюконосних і медоносних рослин, необхідних для оптимального живлення та відтворення бджолиних сімей. Одним із ключових чинників росту та регуляції чисельності бджолосімей протягом року є наявність повноцінних природних кормових ресурсів [9].

Яйцекладка бджолиних маток є складним біологічним процесом, що формується під впливом комплексу природних і технологічних чинників. За умов природного способу отримання маток її інтенсивність визначається породними особливостями бджіл, віком матки, а також якістю й кількістю маточного молочка, яке продукують бджологодувальниці. Важливим чинником є кормова база, адже достатня кількість нектару та пилюку створює

оптимальні умови для розвитку матки й реалізації її репродуктивної функції. Не менш вагомими є технологія ведення бджільництва та погодні умови, що визначають загальний стан бджолосімей та її здатність підтримувати високу продуктивність матки [14, 15].

За умов штучного запліднення бджолиних маток спектр факторів розширюється. До цих ознак слід віднести вік племінних личинок, які використовуються для виведення маток, а також спосіб і умови їх репродукції [5]. Додаткове важливе значення мають технологічні параметри запліднення маток, оскільки саме вони визначають якість майбутнього потомства та стабільність процесу яйцекладки. Таким чином, ефективність репродуктивної функції бджолиних маток формується як під впливом природних біологічних чинників, так і завдяки сучасним технологічним прийомам, що застосовуються у практиці бджільництва [13].

Сучасне ведення бджільництва спрямоване на пошук ефективних методів корекції та стимулювання репродуктивної здатності бджолиних маток. Все ширше впроваджуються технології підгодовлі медоносних бджіл із використанням протеїново-жирових добавок, компоненти яких впливають на фізіологічні процеси в організмі. Особливе значення має застосування мінеральних речовин, зокрема мікроелементів у цитратній формі, що сприяють активізації обмінних процесів, підвищують інтенсивність яйцекладки та забезпечують формування життєздатного потомства. У практиці весняної підгодовлі такі підходи сприяють швидкому нарощуванню сили бджолиних сімей, що дає змогу ефективно використовувати ранній період медозбору. Молоді бджоли, вирощені в цих умовах, характеризуються високою продуктивністю, стійкістю до несприятливих факторів середовища та підвищеною резистентністю організму [3, 9].

Додаткове застосування мінеральних елементів у цитратній формі має виражений регуляторний ефект, беручи участь у ферментативних процесах, стабілізуючи кислотно-лужний баланс та забезпечуючи оптимальне функціонування репродуктивної системи бджолиних маток. Тому дослідження репродуктивної функції бджолиних маток за умов підгодовлі мікроелементами у цитратній формі має певний практичний і науковий інтерес.

Мета дослідження

Метою роботи було дослідити вплив германію цитрату на інтенсивність яйцекладки бджолиних маток у весняний період та на продуктивність бджолої сім'ї.

Завдання дослідження:

- Проаналізувати літературні джерела щодо репродуктивної системи бджолиних маток і ролі мінеральних елементів у їх підгодовлі.

- Дослідити вплив германію цитрату на інтенсивність яйцекладки маток і розвиток бджолосімей у весняний період.

- Оцінити продуктивність бджіл за умов весняної підгодовлі германію цитратом та узагальнити практичне значення отриманих результатів для бджільництва.

Матеріали і методи

Дослідження проведені на медоносних бджолах карпатської породи в приватному пасічницькому господарстві Закарпатської області в осінньо-весняний період. Досліди були виконані на двох групах бджолосімей-аналогів за масою бджіл, силою сім'ї та віком матки, по п'ять сімей у кожній групі.

Бджоли першої (контрольної) групи у період підгодовлі отримували 60 % цукровий сироп у кількості 2 л/сім'ю/тиждень.

Друга група бджіл (Д1) додатково до 2 л цукрового сиропу отримувала 0,1 мкг/мл Ge у вигляді нанотехнологічного цитрату. Тривалість згодовування цукрового сиропу та нанотехнологічного цитрату Ge становила 30 діб у літньо-осінньому періоді (серпень-вересень).

Крім того, впродовж зимівлі та ранньовесняного періоду контролювали стан бджолосімей контрольної та дослідної груп, їхню силу за кількістю бджіл і масу «підмору». Для визначення стану сімей після зимівлі було оцінено їхню зимостійкість шляхом порівняння даних головних весняних ревізій (лютий–березень–квітень). При цьому враховували такі показники: кількість загиблених сімей; масу «підмору» та кількість витраченого корму під час зимівлі з розрахунку на одну бджолину сім'ю (кг); силу сім'ї після зимівлі за кількістю вуличок; кількість печатного розплоду на день весняної ревізії. Оцінку збереженості бджолиних сімей після зимівлі здійснювали на основі їхньої наявності та сили на момент проведення ревізії.

Для визначення інтенсивності розвитку, стану бджолиних сімей та оцінки відтворної здатності маток було проведено підрахунок кількості печатного розплоду у гніздах сімей за допомогою рамки-сітки та визначено середньодобове відкладання яєць маткою. Підрахунок проводили шляхом безпосереднього накладання рамки-сітки на стільники зі зрілим запечатаним розплодом з інтервалом у 12 діб, оскільки бджолиний розплід перебуває в запечатаному стані впродовж 12 діб. Підраховавши суму запечатаних комірок усіх квадратів за один промір та поділивши її на 12, отримували показник інтенсивності середньодобової яйцекладки бджолиних маток.

Для дослідження продукції бджіл у червні відбирали поліфлорний мед із вуликів контрольної та дослідної груп бджолиних сімей. У зразках меду визначали якісні показники, зокрема вміст проліну, діастазну активність, масову частку води та рН.

Цифрові дані опрацьовано статистично з використанням комп'ютерної програми Microsoft Excel із визначенням середніх величин M , їхніх помилок $\pm m$ і ступеня вірогідності міжгрупових різниць за критерієм Ст'юдента (p).

Результати та їх обговорення

Рацион медоносних бджіл формується завдяки поєднанню нектару та квіткового пилку, причому найбільш цінним є поліфлорний пилок, що вирізняється високим рівнем біологічної різноманітності. Такий корм забезпечує комах необхідними вітамінами, макро- та мікроелементами, а також є джерелом

протеїну, незамінних амінокислот, ферментів і ліпідів. Сукупність цих компонентів оптимізує фізіолого-біохімічні процеси в організмі бджіл і стимулює репродуктивну активність маток [3, 17].

Весняна ревізія показала, що бджолині сім'ї дослідної групи характеризувалися вищою активністю. Вони здійснювали обліт раніше й не виявляли ознак порушення санітарного стану вулика. Збереженість бджіл у зимовий період визначається комплексом чинників, серед яких спадкові особливості сім'ї, рівень її здоров'я, якість осіннього нагодування, поживна цінність кормів, породні характеристики та інші біологічні й екологічні параметри. У період зимівлі бджолині сім'ї дослідної групи продемонстрували вищий рівень збереженості порівняно з контрольною. Витрати кормів у цих сім'ях були меншими, що пояснюється кращим фізіологічним станом і стійкістю до несприятливих умов. Натомість контрольні сім'ї споживали більше меду, оскільки потребували додаткових енергетичних ресурсів для підтримання належного мікроклімату в гнізді.

Заміна бджолиних сімей, які перезимували, триває протягом 30–35 діб, починаючи з моменту першого весняного обльоту та активізації яйцекладки матки. У сильних сім'ях тривалість життя бджіл після очисного обльоту сягає 40–45 діб, і на час їхньої загибелі сила колонії зростає в середньому на 2–3 вулички. Тривалість цього періоду значною мірою визначається якістю та тривалістю життя медоносних бджіл, що залежать від сили сім'ї, умов зимівлі, рівня забезпеченості кормами, весняних погодних умов та особливостей медозбору.

За результатами весняної ревізії встановлено, що бджолині сім'ї дослідної групи, які отримували підгодовлю цукровим сиропом із додаванням 0,1 мкг/мл германію цитрату, характеризувалися вірогідно вищим рівнем збереженості порівняно з контролем, що становило 100 % проти 90 % відповідно (*табл. 1*).

Таблиця 1

Стан та сила бджолиних сімей за показниками весняної ревізії ($M \pm m$, $n = 5$)

Показник	Контрольна	Дослідна (Д1)
Сила сім'ї, вуличок	4,25±0,258	6,67±0,67**
Кількість розплоду, рамок	2,10±0,12	2,67±0,33
Підмор, г	195,2±25,05	100,0±11,55**
Забрудненість рамок каловими масами, балів	3	відсутня
Збереженість, %	90	100

Примітка: ** – $p < 0,01$ – вірогідні різниці між контрольною та дослідною групами.

Важливо зазначити, що під час осінньої підгодовлі сила сімей у дослідній та контрольній групах була однаковою. Проте навесні суттєва перевага залишалася за бджолиними сім'ями дослідної групи, що проявлялося у збереженні більшої сили колоній, яка була вищою у 1,6 раза ($p < 0,01$) за показник у контрольній групі, а також у збільшенні підрамкового простору.

Отримані результати свідчать про позитивний вплив цитрату германію на життєздатність і силу бджолиних сімей, що підтверджує його ефективність у підтриманні фізіологічного стану та стійкості комах. Зокрема, у бджолиних гніздах дослідної групи

після зимівлі під час весняної ревізії відзначено меншу кількість підмору та більший обсяг розплоду порівняно з контрольною групою. Характерною ознакою було збереження чистоти вуликів без слідів калових мас і цвілі, тоді як у контрольній групі зафіксовано забрудненість рамок, оцінену у 3 бали. Ці дані додатково підтверджують позитивний вплив умов підгодівлі на санітарний стан гнізд.

Упродовж періоду весняного розвитку бджолині сім'ї дослідної групи демонстрували інтенсивніше нарощування сили порівняно з контролем (рис. 1).

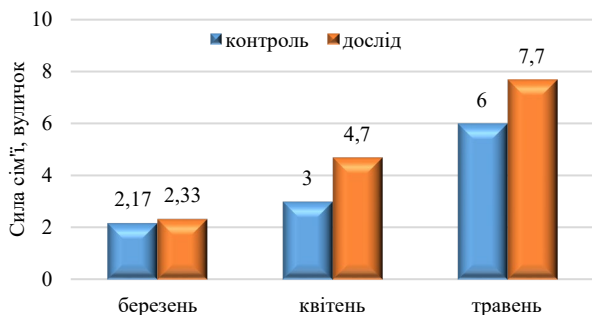


Рис. 1. Динаміка розвитку бджолиних сімей у весняний період

Таблиця 2

Інтенсивність яйцекладки бджолиних маток, кількість яєць/добу ($M \pm m$, $n = 5$)

Дата проміру / 12-добові етапи досліджень		Показник	Контрольна	Дослідна (Д1)	% до контролю
Підготовчий період	I етап	Середнє на бджоломатку за добу, шт.	1 185,5±145,05	1 227,03±107,77	103,5
		Кількість яєць всього за 12 діб, шт.	14 255,5±389,55	14 748,7±589,3	–
Дослідні періоди	II етап	Середнє на бджоломатку за добу, шт.	1 385,5±58,50	1 401,5±24,8	–
		Кількість яєць всього за 12 діб, шт.	16 155,2±458,2	17 884,0±658,53	110,7
		% до I етапу	113,3	121,3	–
	III етап	Середнє на бджоломатку за добу, шт.	1 470,5±52,45	1 504,4±23,56	102,3
		Кількість яєць всього за 12 діб, шт.	17 582,5±125,58	18 052,3±282,73	–
		% до II етапу	108,8	100,9	–
Усього відкладено яєць за обліковий період, шт.			47 993,2	50 685,0	105,6

У дослідній групі загальна кількість яєць за весь період експерименту зростала як порівняно з контролем, так і порівняно з підготовчим етапом. Підвищений рівень яйцекладки у бджолиних маток може бути пов'язаний із посиленням вмісту біологічно активних речовин у маточному молочку бджіл-годувальниць під впливом германію цитрату на їхній метаболізм, а також завдяки стимулюючій дії на функціональну активність репродуктивної системи маток. Встановлено прямий взаємозв'язок між силою бджолої сім'ї та продуктивністю медозбору: потужні сім'ї забезпечують більший вихід меду на одиницю живої маси, оскільки відносно менша частка особин витрачається на вирощування розплоду (табл. 3).

Бджолої сім'ї дослідної групи, які отримували підгодівлю германію цитратом, характеризувалися суттєво вищою продуктивністю порівняно з контрольними. За умов вищої чисельності робочих бджіл на початку медозбору вони забезпечили значно більший загальний вихід меду, а середній показник товарного меду на одну сім'ю перевищив контрольний на 6 кг. Це свідчить про позитивний вплив германію цитрату на силу та ефективність бджолиних сімей у весняний

За результатами весняних спостережень у березні показники груп були майже на одному рівні й становили 2,17 та 2,33 вулички відповідно. Проте вже у квітні перевага дослідної групи становила 56 % (4,7 вулички проти 3,0 у контролі), а у травні – 28 % (7,7 вулички проти 6,0), що свідчить про стабільніший розвиток і вищу життєздатність дослідних сімей за умов використання нанотехнологічного мікроелемента.

Встановлено відмінності інтенсивності середньодобової яйцекладки бджолиних маток у дослідній групі порівняно з матками бджолиних сімей контрольної групи, що свідчить про позитивний вплив застосованих умов утримання на їхню репродуктивну активність (табл. 2).

Облік зрілого печатного розплоду за умов підгодівлі германію цитратом показав підвищення інтенсивності яйцекладки бджолиними матками у дослідній групі, яке за загальною кількістю яєць на II етапі перевищувало контроль на 10,7 %. Упродовж другого періоду експерименту середня кількість відкладених яєць у дослідній групі становила 17 884 проти 16 155 у контрольній, що підтверджує стимулюючий вплив нанотехнологічного препарату на репродуктивну активність маток.

період і підтверджує доцільність його використання у практиці бджільництва.

Таблиця 3

Продуктивність бджолиних сімей за впливу германію цитрату ($M \pm m$, $n = 5$)

Показник	Контрольна	Дослідна (Д1)
Кількість бджіл у сім'ї на початку медозбору, тис. шт.	118	125
Вироблено меду всього, включаючи на корм бджолам, кг	3 050	3 750
Отримано товарного меду на одну бджолої сім'ю, кг	18,0	24,0

Мед характеризується високою біологічною цінністю завдяки наявності комплексу ферментів. Найбільш поширеними серед них є глюкозооксидаза, інвертаза та діастаза, кожна з яких виконує свої специфічні функції. Глюкозооксидаза бере участь у формуванні перекису водню, що забезпечує антимікробні властивості продукту; інвертаза каталізує розщеплення сахарози на глюкозу та фруктозу, формуючи характерний вуглеводний склад; діастаза

здійснює гідроліз крохмалю та інших полісахаридів, сприяючи перетворенню складних вуглеводів у більш доступні форми [2, 7, 11].

Слід підкреслити, що активність діастази має ключове значення для оцінки якості меду, оскільки саме цей показник відображає його натуральність і ступінь свіжості [12, 18]. Висока діастазна активність є показником збереження ферментативних властивостей меду, тоді як її зниження може свідчити про перегрівання продукту або надмірно тривале зберігання. Діастазний показник широко застосовується для стандартизації та контролю якості меду, а також використовується для оцінки його харчової та лікувальної цінності [1, 20].

За результатами дослідження якісних показників меду встановлено, що значення проліну та діастазного числа у зразках дослідної групи були вірогідно вищими порівняно з контрольною, перевищуючи їх в середньому у 1,1 раза ($p < 0,05-0,001$) (табл. 4).

Таблиця 4

Якісні та фізико-хімічні показники меду за умов згодовування германію цитрату ($M \pm m$, $n = 5$)

Показники якості	Контрольна	Дослідна (Д1)
Пролін, мг/кг	312,85±3,55	346,46±0,46***
Діастазне число, од. Готе	10,50±0,25	11,20±0,03*
Масова частка води, %	18,13±0,35	17,04±0,83
pH	4,15±0,05	4,00±0,01*

Примітка. * – $p < 0,05$; *** – $p < 0,01$ – вірогідні різниці між контрольною та дослідною групами.

Масова частка води є одним із ключових критеріїв якості меду. За умов її підвищеного рівня бджолопродукція швидше кристалізується або переходить у рідкий стан, а ймовірність розвитку процесів бродіння істотно зростає. За результатами визначення масової частки води у зразках встановлено її нижчий рівень у дослідній групі (17,04 %) порівняно з контрольною (18,13 %), що свідчить про позитивний регуляторний вплив германію цитрату на процеси дозрівання меду та зв'язування води вуглеводами.

За органолептичними показниками отриманий мед повністю відповідав вимогам ДСТУ 4497:2005. Ознак бродіння в жодному зразку не виявлено; продукт мав солодкий, ніжний смак без сторонніх присмаків, характерний відтінок кольору від світло-жовтого до жовтого, в'язку консистенцію та був вільний від механічних домішок.

Висновки

1. Згодовування бджолиним сім'ям нанотехнологічного германію цитрату у дозі 0,1 мкг/мл ефективно активує репродуктивну функцію бджолиних маток. Це підтверджується зростанням загальної кількості відкладених яєць за обліковий період на 5,6 % (50 685 проти 47 993,2 шт. у контролі), з максимальним інтенсифікаційним зростанням на II етапі досліджень, де показник перевищив контроль на 10,7 % ($p < 0,05$).

2. Застосування мікроелемента забезпечує високу життєздатність колоній у зимово-весняний період: збереженість бджолосімей дослідної групи становила 100 % проти 90 % у контролі, а весняна сила сімей була вищою у 1,6 раза ($p < 0,01$) на тлі зниження маси підмору майже вдвічі (100,0 г проти 195,2 г у контролі) та повної відсутності калового забруднення рамок.

3. Включення германію цитрату до весняного раціону позитивно впливає на товарну продуктивність пасіки та якість меду. Середній збір товарного меду на одну бджолину сім'ю зріс на 6,0 кг, при цьому кінцевий продукт характеризувався кращим ступенем зрілості (зниження вологості до 17,04 % проти 18,13 % у контролі) та вищою біологічною цінністю: вміст проліну зріс до 346,46 мг/кг ($p < 0,001$), а діастазне число – до 11,20 од. Готе ($p < 0,05$).

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автори заявляють, що всі проведені дослідження повністю відповідають загальноприйнятим нормам гуманного ставлення до комах та загальним принципам біоетики. Клініко-експериментальна частина роботи виконана з суворим дотриманням вимог чинного законодавства України, зокрема Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV), а також міжнародних етичних стандартів щодо захисту та збереження біорізноманіття корисних ентомофагів.

Оцінку стану бджолосімей, сили колоній та відтворної здатності маток виконували виключно неінвазивними методами (шляхом візуального огляду та безпосереднього накладання рамки-сітки на стільники) без нанесення травм чи будь-якої шкоди біологічному об'єкту. Під час експерименту бджолам забезпечували належні технологічні умови утримання в стандартних вуликах на базі приватного пасічного господарства, якісний догляд, збалансовану весняну підгодівлю та повну мінімізацію дискомфортних чинників, що забезпечило 100 % збереженість сімей після зимівлі.

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ІІІ та технологій на основі ІІІ

Автори заявляють, що не використовували штучний інтелект або технології на основі ІІІ під час підготовки цього рукопису.

References

- Alaerjani, W. M. A., & Mohammed, M. E. A. (2024). Impact of floral and geographical origins on honey quality parameters in Saudi Arabian regions. *Scientific Reports*, 14 (1), 8720. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59359-y>
- Amiri, E., Strand, M., Rueppell, O., & Tarpy, D. (2017). Queen quality and the impact of honey bee diseases on queen health: Potential for interactions between two major threats to colony health. *Insects*, 8 (2), 48. <https://doi.org/10.3390/insects8020048>
- Androshulik, R. L., & Kovalchuk, I. I. (2023). Reproductive capacity of bee queens and bee productivity under magnesium citrate supplementation. *Scientific and Technical Bulletin of State Scientific Research Control Institute of Veterinary Medical Products and Fodder Additives and Institute of Animal Biology*, 24 (2), 25–32. <https://doi.org/10.36359/scivp.2023-24-2.02>
- Bygera, S. I. (2005). Selektiino-pleminna robota v haluzi bdzhilnystva [Breeding and selection work in the field of beekeeping]. *Pasika*, 8, 16. [in Ukrainian]
- Collins, A. M. (2000). Relationship between semen quality and performance of instrumentally inseminated honey bee queens. *Apidologie*, 31 (3), 421–429. <https://doi.org/10.1051/apido:2000132>
- Corona, M., Velarde, R. A., Remolina, S., Moran-Lauter, A., Wang, Y., Hughes, K. A., & Robinson, G. E. (2007). Vitellogenin, juvenile hormone, insulin signaling, and queen honey bee longevity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (17), 7128–7133. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701909104>
- Da Silva, P. M., Gauche, C., Gonzaga, L. V., Costa, A. C. O., & Fett, R. (2016). Honey: Chemical composition, stability and authenticity. *Food Chemistry*, 196, 309–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.09.051>
- Dmitruk, I. V., & Suhovuha, S. M. (2016). Growth and development of bees using organic acids and probiotics. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 18 (2), 85–89. <https://doi.org/10.15421/nvlvet6719>
- Dvylyuk, I. I., Kovalchuk, I. I., & Dvylyuk, I. V. (2019). Features of functioning of the reproductive system of honey bees queen after feeding the silver and copper nanoparticles citrate-based. *The Animal Biology*, 21 (3), 33–41. <https://doi.org/10.15407/animbiol21.03.033>
- Fine, J. D., Shpigler, H. Y., Ray, A. M., Beach, N. J., Sankey, A. L., Cash-Ahmed, A., Huang, Z. Y., Astrauskaite, I., Chao, R., Zhao, H., & Robinson, G. E. (2018). Quantifying the effects of pollen nutrition on honey bee queen egg laying with a new laboratory system. *Plos One*, 13 (9), e0203444. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203444>
- Huang, Z., Liu, L., Li, G., Li, H., Ye, D., & Li, X. (2019). Nondestructive determination of diastase activity of honey based on visible and near-infrared spectroscopy. *Molecules*, 24 (7), 1244. <https://doi.org/10.3390/molecules24071244>
- Kędzierska-Matysek, M., Florek, M., Wolanciuk, A., Skalecki, P., & Litwińczuk, A. (2016). Characterisation of viscosity, colour, 5-hydroxymethylfurfural content and diastase activity in raw rape honey (*Brassica napus*) at different temperatures. *Journal of Food Science and Technology*, 53 (4), 2092–2098. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2194-z>
- Khan, K. A., Rafique, M. K., Lashari, M. A., Iqbal, A., Mahmood, R., Ahmed, A. M., Khoso, F. N., Ahmad, S., AL-Shehri, B. M., Mohammed, M. E. A., & Ghramh, H. A. (2022). Instrumental insemination: A nontraditional technique to produce superior quality honey bee (*Apis mellifera*) queens. *Journal of King Saud University - Science*, 34 (5), 102077. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.102077>
- Neumann, P., Hepburn, H. R., & Radloff, S. E. (2000). Modes of worker reproduction, reproductive dominance and brood cell construction in queenless honeybee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Apidologie*, 31 (4), 479–486. <https://doi.org/10.1051/apido:2000140>
- Page, R. E., & Erickson, E. H. (1988). Reproduction by worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 23 (2), 117–126. <https://doi.org/10.1007/bf00299895>
- Paray, B. A., Kumari, I., Hajam, Y. A., Sharma, B., Kumar, R., Albeshr, M. F., Farah, M. A., & Khan, J. M. (2021). Honeybee nutrition and pollen substitutes: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28 (1), 1167–1176. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.053>
- Romaniv, L. I., Fedoruk, R. S., & Kaplunenko, V. H. (2013). Reproduktyvna zdattist bdzholnykh matok za pidhodivli boroshnom soi z dodavanniam khromu [Reproductive capacity of honeybee queens for feeding soy flour with chromium]. *Visnyk Ahrarnoi Nauky Prychornomoria*, 4 (76), 136–144. [in Ukrainian]
- Tosi, E., Martinet, R., Ortega, M., Lucero, H., & Ré, E. (2008). Honey diastase activity modified by heating. *Food Chemistry*, 106 (3), 883–887. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.025>
- Wright, G. A., Nicolson, S. W., & Shafir, S. (2018). Nutritional physiology and ecology of honey bees. *Annual Review of Entomology*, 63 (1), 327–344. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-020117-043423>
- Žak, N., & Wilczyńska, A. (2023). The importance of testing the quality and authenticity of food products: The example of honey. *Foods*, 12 (17), 3210. <https://doi.org/10.3390/foods12173210>

ORCID

I. Kovalchuk 

<https://orcid.org/0000-0001-9932-6315>

T. Khymynets 

<https://orcid.org/0009-0001-3173-7318>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

The impact of idiopathic epilepsy on sleep quality in dogs: A replication study and validation of the SNoRE questionnaire in Ukraine

A. Bohdan  | N. Suslova

Article info

Correspondence Author

A. Bohdan

E-mail:

12286234@student.dsau.dp.uaDnipro State Agrarian and
Economic University,
Serhii Efremov Str., 25, Dnipro,
49600, Ukraine

Citation: Bohdan, A., & Suslova, N. (2026). The impact of idiopathic epilepsy on sleep quality in dogs: A replication study and validation of the SNoRE questionnaire in Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 261–265. doi: 10.31210/spi2026.29.01.40

This replication study evaluated the specific characteristics of sleep quality in dogs diagnosed with idiopathic epilepsy compared to clinically healthy animals within the context of Ukrainian veterinary practice. The study is grounded in the hypothesis of a complex bidirectional relationship between epilepsy and sleep disorders, a phenomenon well-documented in human medicine but remaining insufficiently investigated in the veterinary field. The research was conducted between 2024 and 2025 at the "ANIMALIA" veterinary clinic in Dnipro, Ukraine. The study sample consisted of sixty-four dogs distributed into two equal groups using a case-control design: the main group (n=32) comprising dogs with a confirmed idiopathic epilepsy diagnosis matching the Tier II confidence level according to the International Veterinary Epilepsy Task Force guidelines, and a control group (n=32) of healthy dogs, strictly matched by age, sex, and breed characteristics. Data collection was performed using the owner-based validated Sleep and Nighttime Restlessness Evaluation questionnaire. The results revealed statistically significant differences in total sleep quality scores between the two groups. Dogs with idiopathic epilepsy demonstrated a significantly higher median total score of 12 with an interquartile range of 6–33, compared to a median score of 8 with an interquartile range of 6–22 in the control group ($p<0.001$), indicating substantial sleep impairment. Detailed factor analysis clarified that the decrease in sleep quality was driven exclusively by Factor 1 (Sleep Quality), which includes the ability to fall asleep and sleep continuity; the median score in the study group was 9 against 5 in the control group ($p<0.001$). Conversely, no significant differences were found for Factor 2 (Sleep Interruption due to Dreaming), with both groups showing a median score of 2 ($p=0.99$), suggesting the preservation of rapid eye movement sleep stability. Furthermore, the study investigated potential correlations with clinical variables. No statistically significant association was found between sleep quality scores and seizure frequency ($p=0.73$), the presence of cluster seizures ($p=0.22$), or the number and type of antiseizure medications administered ($p=0.77$). However, subjective owner reports indicated that 68.8% of dogs experience changes in sleep patterns during the postictal phase, with the majority (59.5 %) showing hypersomnia, likely reflecting a compensatory neural recovery mechanism. The findings confirm the clinical utility of the Sleep and Nighttime Restlessness Evaluation questionnaire as a sensitive screening tool for detecting non-motor comorbidities in canine epilepsy. The study highlights that sleep disturbances in dogs with idiopathic epilepsy should be regarded as an independent pathological feature rather than a direct consequence of pharmacotherapy. These results emphasize the necessity of integrating routine sleep assessment into standard management protocols for veterinary neurological patients to improve their overall quality of life.

Keywords: idiopathic epilepsy, dogs, sleep quality, Sleep and Nighttime Restlessness Evaluation questionnaire, antiseizure medications, translational research.

Вплив ідіопатичної епілепсії на якість сну у собак: реплікаційне дослідження та валідація запитальника SNoRE в Україні

А. А. Богдан | Н. І. Суслова

Дніпровський державний
аграрно-економічний
університет,
м. Дніпро, Україна

У дослідженні оцінювалися специфічні характеристики якості сну у собак з діагнозом ідіопатична епілепсія порівняно з клінічно здоровими тваринами в умовах української ветеринарної практики. Робота базується на гіпотезі про двонаправлений зв'язок між епілепсією та розладами сну – явищем, добре вивченим у гуманній медицині, проте потребує деталізації у ветеринарії. Дослідження проводили протягом 2024–2025 років на базі ветеринарної клініки «ANIMALIA» (м. Дніпро). Вибірка охоплювала 64 собаки, розділені за дизайном «випадок-контроль»: основна група (n=32) із підтвердженою ідіопатичною епілепсією (рівень Tier II за критеріями IVETF) та контрольна (n=32) із клінічно здорових тварин, підібраних за віком, статтю та породою. Дані збирали за допомогою валідованого опитувальника власників SNoRE (Sleep and Nighttime Restlessness Evaluation). Встановлено достовірні відмінності у загальних балах якості сну між групами. У хворих тварин зафіксовано вищий медіанний загальний бал – 12 (міжквартильний розмах 6–33) порівняно з 8 (6–22) у контролі ($p<0,001$), що вказує на суттєве погіршення сну. Факторний аналіз довів, що зниження якості сну зумовлене виключно Фактором 1 (здатністю заснути та безперервністю сну); медіанний бал у дослідній групі становив 9 проти 5 у контролі ($p<0,001$). Для Фактора 2 (переривання сну через сновидіння) відмінностей не виявлено (медіана 2 в обох групах, $p=0,99$), що свідчить про стабільність фази швидкого сну (REM). Також оцінювалися кореляції з клінічними змінними. Достовірного зв'язку між балами SNoRE та частотою нападів ($p=0,73$), кластерними судомою ($p=0,22$) чи схемою антиепілептичної терапії ($p=0,77$) не виявлено. Проте 68,8 % власників фіксували зміни патернів сну у постіктальній фазі, де 59,5 % випадків припадало на гіперсомнію як компенсаторний механізм відновлення ЦНС. Результати підтверджують клінічну корисність SNoRE як чутливого інструменту для скрінінгу немоторних коморбідностей. Розлади сну при ідіопатичній епілепсії слід розглядати як самостійну патологію, а не як прямий наслідок фармакотерапії. Це обґрунтовує необхідність інтеграції оцінки сну в стандартні протоколи ведення неврологічних пацієнтів для покращення якості їхнього життя.

Ключові слова: ідіопатична епілепсія, собаки, якість сну, запитальник SNoRE, антиепілептичні препарати, трансляційне дослідження.



Бібліографічний опис для цитування: Богдан А. А., Суслова Н. І. Вплив ідіопатичної епілепсії на якість сну у собак: реплікаційне дослідження та валідація запитальника SNoRE в Україні. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 261–265.

Introduction

Idiopathic epilepsy (IE) is one of the most common chronic neurological disorders in dogs, with a general prevalence in primary care practices ranging from 0.62 % to 0.82 % [1, 4, 5, 9, 11]. Despite significant progress in understanding genetic factors and seizure control methods, non-motor manifestations of the disease, particularly sleep disorders, remain insufficiently studied in veterinary medicine.

In human medicine, the bidirectional relationship between epilepsy and sleep has long been well-documented [8, 15, 19]. Patients with epilepsy are 2–3 times more likely to suffer from sleep disorders, such as insomnia and restless legs syndrome [12, 13], compared to the general population. This creates a pathological "vicious cycle" where sleep deprivation triggers seizures [10, 14, 18], and epileptic activity, in turn, leads to sleep fragmentation and disruption of its architecture.

An additional influencing factor is antiseizure medications (ASMs): while first-line drugs such as phenobarbital can negatively affect sleep quality, newer ASMs (e.g., gabapentin) sometimes promote increased sleep depth [2, 3, 6, 7, 16, 17, 20]. Dogs, like humans, are prone to a wide range of sleep disorders. However, the interaction between sleep and epilepsy in veterinary medicine remains a subject of discussion.

Previous attempts to assess sleep in dogs with IE using objective methods (actigraphy) [22] did not reveal significant differences in sleep metrics compared to the control group. However, actigraphy is an indirect method of assessing motor activity, which may not capture specific qualitative disturbances occurring at different time intervals.

Currently, the standard for subjective assessment is the developed and validated SNoRE (Sleep and Nighttime Restlessness Evaluation) questionnaire [21]. Using this tool allows assessing the owners' perception of sleep quality, which is critical for clinical management. Given the urgency of the problem, there was a need to conduct a replication study to confirm global data on a local patient cohort.

The aim of the study

The aim of the paper is to test and apply the SNoRE questionnaire for a comparative assessment of sleep quality in dogs with IE and healthy dogs in Dnipro. To achieve this goal, the following tasks were set: to determine the differences in SNoRE scores between the groups, analyze specific sleep factors, and investigate possible associations between sleep parameters, seizure characteristics, and medication regimens.

Materials and methods

The study was conducted from 2024 to 2025 at the "ANIMALIA" veterinary clinic (Dnipro, Ukraine). The subjects of the study were 64 dogs of various breeds, distributed into two equal groups using the case-control method.

Study group formation

The main group (n = 32) included dogs with a confirmed diagnosis of idiopathic epilepsy. The diagnostic protocol corresponded to the Tier II confidence level according to the International Veterinary Epilepsy Task Force (IVETF) recommendations [23], which included history taking, physical and neurological examinations, complete blood count and biochemistry, as well as brain magnetic resonance imaging (MRI) and cerebrospinal fluid analysis. The control group (n = 32) consisted of clinically healthy dogs with no history of seizures or neurological disorders. Control animals were matched to the main group by age, sex, and breed group.

Sleep assessment tool

The validated SNoRE (Sleep and Nighttime Restlessness Evaluation) questionnaire was used for data collection [21]. Owners evaluated the animals' behavior over the last 7 days on 6 items using a scale from 1 to 10, where a higher score corresponded to more severe disturbances. The total SNoRE score could range from 6 to 60. The questionnaire structure involved division into two factors: Factor 1 (Sleep Quality), assessing the ability to fall asleep and sleep continuity; and Factor 2 (Sleep Interruption due to Dreaming), including vocalization and twitching.

Statistical analysis

Data processing was performed using the Microsoft Excel 2021 package. Data normality was tested using the Shapiro-Wilk test. Since the distribution was not normal, data are presented as median and interquartile range (IQR). The Wilcoxon signed-rank test was used to compare SNoRE scores between the matched groups. The Kruskal-Wallis test was used to compare subgroups by clinical characteristics. The level of statistical significance was established at $p < 0.05$.

Results and discussion

The main group (n = 32) included dogs with a mean age of 5.6 years (11 females, 21 males), and the control group (n = 32) was fully balanced by age (mean age 5.4 years), sex, and breed composition (*Table 1*).

Table 1
Demographic characteristics of the study groups (n = 32)

Indicator	IE Group (n = 32)	Control Group (n = 32)	P-value
Age (years), Median (IQR)	5.6 (3.1–7.5)	5.4 (2.8–8.5)	0.9
Sex: Males / Females	21 / 11	21 / 11	1.0
Most Common Breeds:			
Labrador Retriever	5 (15.6%)	4 (12.5%)	–
German Shepherd	4 (12.5%)	3 (9.4%)	–
Mixed Breeds	6 (18.8%)	7 (21.9%)	–

Note. Data for quantitative variables (age) are presented as Median (IQR). For qualitative variables, data are presented as absolute numbers (n) and percentages (%). No statistically significant differences were found between the groups ($p > 0.05$).

Analysis of the SNoRE questionnaire results revealed statistically significant differences between animals with epilepsy and clinically healthy dogs. It was established

that dogs with IE demonstrate significantly higher sleep disturbance scores compared to the control group. The median total SNoRE score in the main group was 12 (IQR: 6–33), while in the control group, this indicator was at the level of 8 (IQR: 6–22; $p<0.001$; **Fig. 1**). These data indicate that the presence of epileptic activity is associated with a deterioration in the overall quality of the animal's night rest.

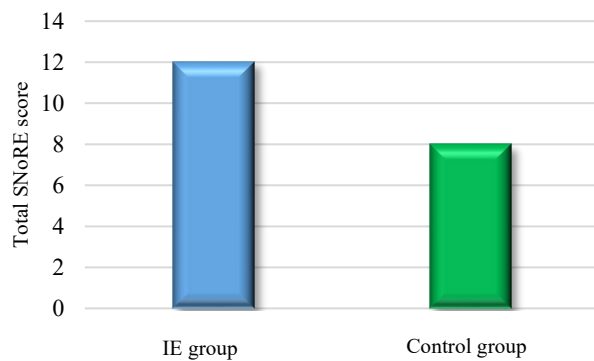


Fig. 1. Comparison of total SNoRE scores between control group and dogs with epilepsy.

Note. Bars represent median values; the difference is statistically significant ($p<0.001$).

Factor analysis showed that the main contribution to the increase in the total score is made by Factor 1 (Sleep Quality). The median score for this factor in dogs with IE was 9, which is almost double the score of healthy dogs, which stood at 5 ($p<0.001$). For Factor 2 (Interruption due to Dreaming), no statistically significant differences were found: the median in both groups was 2 ($p=0.99$). This suggests that IE primarily affects the non-rapid eye movement (NREM) sleep phase, rather than the rapid eye movement (REM) sleep phase.

Unexpectedly, no direct correlation was found between sleep quality and seizure frequency ($p=0.73$), the presence of cluster seizures ($p=0.22$), or disease duration. Furthermore, regarding medication therapy, dogs receiving monotherapy or combinations of ASMs (phenobarbital, levetiracetam, potassium bromide) did not show significant differences in sleep scores compared to untreated dogs ($p=0.77$; **Table 2**).

Table 2

Association between SNoRE scores and clinical characteristics of epilepsy

Characteristic	<i>n</i>	Total Score (Median)	Factor 1 (Quality)	<i>P</i> -value
Seizure Frequency				0.73
Daily/Weekly	8	12.5	9.5	
Monthly	14	12.0	9.0	
Less than once a month	10	11.5	8.5	
Cluster Seizures				0.22
Yes	24	12.0	9.0	
No	8	13.0	9.5	
Number of ASMs				0.77
Monotherapy (1 drug)	12	12.0	9.0	
Polytherapy (≥ 2 drugs)	20	12.5	9.0	

Note. ASMs – antiseizure medications. *P*-values calculated using the Wilcoxon signed-rank test (for two subgroups) and the Kruskal-Wallis test (for three subgroups). In all cases, $p>0.05$, indicating no significant impact.

Regarding postictal changes, 68.8 % of owners confirmed the presence of visible changes in the sleep/wake cycle. Among them, 59.5 % reported that the dog sleeps significantly more than usual.

The diagnosis and management of idiopathic epilepsy (IE) in dogs traditionally focus on controlling the frequency and severity of seizures. However, our study confirms that IE is a complex systemic disease accompanied by significant non-motor comorbidities, particularly the deterioration of sleep quality. The obtained results on the local cohort of patients in Dnipro demonstrate that the median SNoRE score in dogs with epilepsy is 50% higher than in healthy animals (12 vs. 8, respectively), which fully correlates with the findings of the translational study by Mondino et al. [21].

In human medicine, it is established that patients with epilepsy are 2–3 times more likely to suffer from sleep disorders, such as insomnia, which creates conditions for a lowered seizure threshold. A similar pattern is observed in veterinary practice. However, it is interesting to note that previous objective studies using actigraphy [22] did not record a significant difference in sleep architecture between affected and healthy dogs. This may be due to the fact that actigraphy only captures overall motor activity, without taking into account the qualitative aspects of night rest. Our study highlights the higher sensitivity of the validated SNoRE questionnaire specifically for detecting qualitative disturbances, such as difficulty falling asleep and sleep fragmentation.

Analysis of the specific SNoRE factors showed that the main contribution to the increase in the total score is made by Factor 1 (Sleep Quality). This indicates that epileptic activity affects the animal's ability to maintain continuous sleep, while Factor 2 (Sleep Interruption due to Dreaming) showed no significant differences. This suggests that IE primarily affects the non-rapid eye movement (NREM) sleep phase, rather than the rapid eye movement (REM) sleep phase, which is also discussed in the original study by Mondino.

The lack of a statistically significant association between sleep quality and seizure frequency or the antiseizure medication (ASM) regimen was somewhat unexpected. In humans, sleep stability often directly depends on the success of seizure control. However, as noted by Mondino et al. [21], the absence of such a correlation in dogs may be due to the limited sample size (an underpowered effect) for detecting the subtle effects of specific drugs, such as phenobarbital or potassium bromide. This indicates that sleep disturbances in IE may be an independent component of the disease pathogenesis, independent of current seizure activity.

Postictal changes deserve special attention. The majority of owners (68.8%) noted a change in sleep duration after seizures, with 59.5% reporting prolonged sleep periods. This may indicate the development of compensatory inhibition in the central nervous system following excessive excitation. It should be noted that owners often try to create the calmest possible environment for the dog to rest after a seizure, which can also influence these subjective assessments.

Thus, the results of our study emphasize the importance of an integrated approach to managing

patients with epilepsy. Sleep quality should be considered a distinct clinical marker of the animal's welfare, and its monitoring using the SNoRE questionnaire can be a valuable addition to standard diagnostic and treatment protocols.

Conclusions

This study confirmed significant sleep disturbances in dogs with idiopathic epilepsy, as evidenced by a significantly higher total SNoRE score (median 12) in affected animals compared to the healthy control group (median: 8; $p < 0.001$). This deterioration of night rest is driven primarily by Factor 1 (Sleep Quality), whereas Factor 2 (Sleep Interruption due to Dreaming) remains unaffected ($p = 0.99$). Notably, these canine sleep disturbances appear to be independent of seizure frequency, the presence of cluster seizures, disease duration, or antiseizure medication (ASM) regimens; however, the postictal phase is subjectively characterized by increased sleep duration in 59.5 % of cases. Consequently, subjective sleep monitoring using the validated SNoRE questionnaire provides a highly sensitive tool that should be integrated into the standard clinical management and quality-of-life assessment of canine epilepsy.

Prospects for Further Research. Future studies should focus on expanding the sample size to conduct a more detailed analysis of the impact of specific antiseizure medications on sleep architecture. Additionally, combining subjective tools like the SNoRE questionnaire with objective instrumental modalities, such as non-invasive polysomnography, is promising to gain a comprehensive understanding of neurophysiological changes in dogs with epilepsy.

DECLARATIONS

Ethical Statement

The authors declare that all clinical and diagnostic investigations complied with generally accepted standards of humane animal treatment and bioethical principles. The clinical part of the study was conducted in strict accordance with the legislation of Ukraine, specifically the Law of Ukraine "On the Protection of Animals from Cruelty" (No. 3447-IV), as well as Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of September 22, 2010, on the protection of animals used for scientific purposes.

All diagnostic procedures (including complete blood count and biochemistry, brain magnetic resonance imaging, and cerebrospinal fluid analysis) were performed solely for clinical indications and after obtaining official informed consent from the animal owners for study participation and completion of the SNoRE questionnaire. During their stay at the veterinary clinic, the animals were provided with appropriate housing, high-quality care, and minimization of any stressful, painful, or uncomfortable factors through adequate anesthetic management during invasive procedures.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of Interest

The authors declares no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The authors declares that no artificial intelligence or AI-assisted technologies were used in the preparation of this manuscript.

References

1. Barry, M., Cameron, S., Kent, S., Barnes-Heller, H., & Grady, K. (2021). Daytime and nocturnal activity in treated dogs with idiopathic epilepsy compared to matched unaffected controls. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 35 (4), 1826–1833. <https://doi.org/10.1111/jvim.16205>
2. Bazil, C. W., Battista, J., & Basner, R. C. (2005). Effects of levetiracetam on sleep in normal volunteers. *Epilepsy & Behavior*, 7 (3), 539–542. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2005.08.001>
3. Bell, C., Vanderlinden, H., Hiersemenzel, R., Otoul, C., Nutt, D., & Wilson, S. (2002). The effects of levetiracetam on objective and subjective sleep parameters in healthy volunteers and patients with partial epilepsy. *Journal of Sleep Research*, 11 (3), 255–263. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2869.2002.00301.x>
4. Berendt, M., Gredal, H., Pedersen, L. G., Alban, L., & Alving, J. (2002). A cross-sectional study of epilepsy in Danish Labrador retrievers: Prevalence and selected risk factors. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 16 (3), 262–268. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2002.tb02367.x>
5. Berendt, M., Gulløv, C. H., Christensen, S. L. K., Gudmundsdottir, H., Gredal, H., Fredholm, M., & Alban, L. (2008). Prevalence and characteristics of epilepsy in the Belgian shepherd variants Groenendael and Tervueren born in Denmark 1995–2004. *Acta Veterinaria Scandinavica*, 50 (1), 51. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-50-51>
6. Carvalho, B. M. S., Chaves, J., & Silva, A. M. d. (2022). Effects of antiepileptic drugs on sleep architecture parameters in adults. *Sleep Science*, 15 (02), 224–244. <https://doi.org/10.5935/1984-0063.20220045>
7. Cicolin, A., Magliola, U., Giordano, A., Terreni, A., Bucca, C., & Mutani, R. (2006). Effects of levetiracetam on nocturnal sleep and daytime vigilance in healthy volunteers. *Epilepsia*, 47 (1), 82–85. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1528.2006.00376.x>
8. De Risio, L., Bhatti, S., Muñana, K., Penderis, J., Stein, V., Tipold, A., Berendt, M., Farquhar, R., Fischer, A., Long, S., Mandigers, P. J., Matiassek, K., Packer, R. M., Pakozdy, A., Patterson, N., Platt, S., Podell, M., Potschka, H., Batlle, M. P., Rusbridge, C., & Volk, H. A. (2015). International veterinary epilepsy task force consensus proposal: diagnostic approach to epilepsy in dogs. *BMC Veterinary Research*, 11 (1), 148. <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0462-1>
9. Erlen, A., Potschka, H., Volk, H. A., Sauter-Louis, C., & O'Neill, D. G. (2018). Seizure occurrence in dogs under primary veterinary care in the UK: prevalence and risk factors. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 32 (5), 1665–1676. <https://doi.org/10.1111/jvim.15290>
10. Frucht, M. M., Quigg, M., Schwaner, C., & Fountain, N. B. (2000). Distribution of seizure precipitants among epilepsy syndromes. *Epilepsia*, 41 (12), 1534–1539. <https://doi.org/10.1111/j.1499-1654.2000.001534.x>
11. Gulløv, C. H., Toft, N., Baadsager, M. M. N., & Berendt, M. (2011). Epilepsy in the Petit Basset Griffon Vendeen: prevalence, semiology, and clinical phenotype. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 25 (6), 1372–1378. <https://doi.org/10.1111/j.1939-1676.2011.00791.x>

12. Heske, L., Nødtdedt, A., Jäderlund, K. H., Berendt, M., & Egenvall, A. (2014). A cohort study of epilepsy among 665,000 insured dogs: Incidence, mortality and survival after diagnosis. *The Veterinary Journal*, 202 (3), 471–476. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2014.09.023>
13. Hülsmeier, V.-I., Fischer, A., Mandigers, P. J. J., DeRisio, L., Berendt, M., Rusbridge, C., Bhatti, S. F. M., Pakozdy, A., Patterson, E. E., Platt, S., Packer, R. M. A., & Volk, H. A. (2015). International veterinary epilepsy task force's current understanding of idiopathic epilepsy of genetic or suspected genetic origin in purebred dogs. *BMC Veterinary Research*, 11 (1). <https://doi.org/10.1186/s12917-015-0463-0>
14. Kearsley-Fleet, L., O'Neill, D. G., Volk, H. A., Church, D. B., & Brodbelt, D. C. (2013). Prevalence and risk factors for canine epilepsy of unknown origin in the UK. *Veterinary Record*, 172 (13), 338. <https://doi.org/10.1136/vr.101133>
15. Kokkinos, V., Koupparis, A. M., Koutroumanidis, M., & Kostopoulos, G. K. (2022). Editorial: Brain mechanisms linking sleep and epilepsy. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.922372>
16. Krishnan, P., Sinha, S., Taly, A. B., Ramachandraiah, C. T., Rao, S., & Satishchandra, P. (2012). Sleep disturbances in juvenile myoclonic epilepsy: A sleep questionnaire-based study. *Epilepsy & Behavior*, 23 (3), 305–309. <https://doi.org/10.1016/j.yebeh.2011.12.018>
17. Legros, B., & Bazil, C. W. (2003). Effects of antiepileptic drugs on sleep architecture: a pilot study. *Sleep Medicine*, 4 (1), 51–55. [https://doi.org/10.1016/s1389-9457\(02\)00217-4](https://doi.org/10.1016/s1389-9457(02)00217-4)
18. Malow, B. A., Lin, X., Kushwaha, R., & Aldrich, M. S. (1998). Interictal spiking increases with sleep depth in temporal lobe epilepsy. *Epilepsia*, 39 (12), 1309–1316. <https://doi.org/10.1111/j.1528-1157.1998.tb01329.x>
19. Manni, R., & Terzaghi, M. (2010). Comorbidity between epilepsy and sleep disorders. *Epilepsy Research*, 90 (3), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.eplepsyres.2010.05.006>
20. Minecan, D., Natarajan, A., Marzec, M., & Malow, B. (2002). Relationship of epileptic seizures to sleep stage and sleep depth. *Sleep*, 25 (8), 56–61. <https://doi.org/10.1093/sleep/25.8.56>
21. Mondino, A., Ludwig, C., Menchaca, C., Russell, K., Simon, K. E., Griffith, E., Kis, A., Lascelles, B. D. X., Gruen, M. E., & Olby, N. J. (2023). Development and validation of a sleep questionnaire, SNoRE 3.0, to evaluate sleep in companion dogs. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40048-1>
22. Yuan, X., & Sun, M. (2020). The value of rapid eye movement sleep in the localization of epileptogenic foci for patients with focal epilepsy. *Seizure*, 81, 192–197. <https://doi.org/10.1016/j.seizure.2020.06.009>
23. Zhou, J.-Y., Tang, X.-D., Huang, L.-L., Zhong, Z.-Q., Lei, F., & Zhou, D. (2012). The acute effects of levetiracetam on nocturnal sleep and daytime sleepiness in patients with partial epilepsy. *Journal of Clinical Neuroscience*, 19 (7), 956–960. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2011.09.032>

ORCID

A. Bohdan 
N. Suslova 

<https://orcid.org/0009-0006-8196-4320>

<https://orcid.org/0000-0001-9500-9224>



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Pathomorphological changes of the hepatorenal system in dogs with babesiosis

N. Kalyuzhnyi✉

Article info

Correspondence Author

N. Kalyuzhnyi

E-mail:

kalyuzhniynazar@gmail.com

Poltava State Agrarian

University,

Skovoroda Str., 1/3, Poltava,

36000, Ukraine

Citation: Kalyuzhnyi, N. (2026). Pathomorphological changes of the hepatorenal system in dogs with babesiosis. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 266–271. doi: 10.31210/spi2026.29.01.41

Canine babesiosis is a highly relevant parasitic disease characterized by systemic involvement of the organism and the development of severe complications associated with massive intravascular hemolysis. The aim of this study was to determine the morphological features of liver and kidney alterations in dogs affected by babesiosis and to analyze the underlying pathogenetic mechanisms of these changes. A comprehensive approach was applied, including necropsy examination, macroscopic assessment, and histological analysis of liver and kidney samples obtained from infected animals, followed by microscopic evaluation of structural alterations. The study demonstrated that hepatic lesions develop as a consequence of intravascular hemolysis, which triggers a cascade of toxic-hypoxic disturbances accompanied by endogenous intoxication, endothelial injury, and microcirculatory disorders manifested as stasis and sludge phenomena. Progressive hepatocellular hypoxia leads to granular and vacuolar degeneration, followed by necrobiotic and necrotic changes with disruption of hepatic trabecular architecture. In addition, sinusoidal congestion, cholestasis, and hemosiderin accumulation were observed, reflecting the intensity of hemolytic processes. Renal lesions were characterized by organ enlargement, venous congestion, and interstitial edema. Histologically, pronounced microcirculatory disturbances were observed, including capillary hyperemia, stasis, partial glomerular collapse, and dilation of Bowman's space. The most severe alterations were detected in the tubular epithelium, where granular and vacuolar degeneration, epithelial desquamation, karyorrhexis, and karyolysis were present, along with the formation of hemoglobin pigment casts within tubular lumina. These changes corresponded to acute tubular necrosis and hemoglobinuric nephrosis, leading to the development of acute renal failure. The obtained results indicate that morphological alterations in the liver and kidneys in babesiosis are systemic in nature and result from the combined effects of hemolytic intoxication, hypoxia, and microcirculatory disorders. These mechanisms form the basis of hepatorenal syndrome and largely determine disease severity and high mortality in affected dogs. The findings contribute to a deeper understanding of babesiosis pathogenesis and may be useful for improving diagnostic approaches and prognostic assessment in veterinary practice.

Keywords: babesiosis, dogs, hepatitis, nephrosis, hepatorenal syndrome.

Патоморфологічні зміни гепаторенальної системи собак при бабезіозі

Н. В. Калюжний

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Бабезіоз собак є актуальною паразитарною патологією, що характеризується системним ураженням організму та розвитком тяжких ускладнень, пов'язаних із масивним внутрішньосудинним гемолізом. Метою дослідження було встановити особливості морфологічних змін печінки та нирок у собак при бабезіозі та проаналізувати патогенетичні механізми їх формування. У роботі використано комплексний підхід, що включав патологоанатомічне, макроскопічне та гістологічне дослідження зразків печінки і нирок, отриманих від інвазованих тварин, із подальшою мікроскопічною оцінкою структурних змін. Встановлено, що патологічний процес у печінці розвивається внаслідок внутрішньосудинного гемолізу, який запускає токсико-гіпоксичні порушення із подальшим розвитком ендогенної інтоксикації, ушкодженням ендотелію судин і розладами мікроциркуляції у вигляді стази та слиж-феномену. Прогресуюча гіпоксія гепатоцитів зумовлює зернисту та вакуольну дистрофію, а надалі некробіотичні та некротичні зміни з дезорганізацією печінкових балок. Додатково виявляються повнокрів'я синусоїдів та холестази, що відображає інтенсивність гемолітичного процесу. У нирках виявлено збільшення органу, венозний застій та інтерстиціальний набряк. Гістологічно виявлено виражені мікроциркуляторні порушення, зокрема гіперемію капілярів, стаз, частковий колапс клубочків і розширення простору капсули Боумена. Найбільш значні зміни виявлено в епітелії звивистих каналців, де спостерігалися зерниста і вакуольна дистрофія, десквамація клітин, каріорексис і каріолізис, а також утворення гемоглобінових пігментних циліндрів у просвітах каналців. Сукупність виявлених змін відповідає гострому некрозу епітеліоцитів каналців та гемоглобінурійному нефрозу, що зумовлює розвиток гострої ниркової недостатності. Отримані результати свідчать, що морфологічні ураження печінки та нирок при бабезіозі мають системний характер і є наслідком поєднаної дії гемолітичної інтоксикації, гіпоксії та мікроциркуляторних порушень. Встановлено, що саме ці механізми формують основу гепаторенального синдрому, визначають тяжкість перебігу захворювання та високу летальність у собак. Отримані дані поглиблюють сучасні уявлення про патогенез бабезіозу та можуть бути використані для удосконалення діагностики і прогнозування перебігу хвороби у ветеринарії.

Ключові слова: бабезіоз, собаки, гепатоз, нефроз, гепаторенальний синдром.



Бібліографічний опис для цитування: Калюжний Н. В. Патоморфологічні зміни гепаторенальної системи собак при бабезіозі. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 266–271.

Вступ

Бабезіоз є одним із найбільш поширених трансмісивних протозойних захворювань собак, що викликається паразитами роду *Babesia*, які локалізуються в еритроцитах і призводять до розвитку гемолітичної анемії та інтоксикації [1–3]. Захворювання має значне поширення в різних регіонах світу та становить серйозну проблему у ветеринарній медицині через високу поширеність і можливі летальні наслідки, проте його епізоотологічні особливості суттєво відрізняються залежно від регіону [4]. Основними збудниками у собак є *Babesia canis*, *B. vogeli*, *B. rossi* та *B. gibsoni*, причому їх географічна локалізація різна: *B. canis* домінує в Європі та Азії, тоді як *B. rossi* – в Африці [5]. Середня глобальна поширеність бабезіозу у собак становить близько 12 %, причому найвищі показники зафіксовані в Європі – понад 20 %. Є дані, що описують зростання рівня інфікування в літній період, пов'язане з підвищеною активністю кліщів [6]. У країнах Центральної Європи бабезіоз спричинений *B. canis* [7]. У країнах Латинської Америки домінує *B. vogeli*, що пов'язано з особливостями клімату та поширенням переносників [8]. В Україні захворювання також широко розповсюджене, зокрема у місті Полтава, де воно реєструється як одна з провідних паразитарних патологій собак [9].

Патогенез бабезіозу у собак характеризується складними механізмами, що включають патології мікроциркуляції судинного русла, інтраваскулярний гемоліз і гіпоксію тканин. Внаслідок цього відбувається ураження паренхіматозних органів, зокрема печінки та нирок, які є ключовими у процесах детоксикації та підтримки гомеостазу організму [1].

Згідно з сучасними даними, розвиток захворювання супроводжується комплексом патологічних змін, що охоплюють як кровоносну систему, так і паренхіматозні органи. Ключовим патогенетичним фактором є руйнування еритроцитів паразитом, що призводить до масивного гемолізу. Внаслідок цього формується анемія, підвищується рівень вільного гемоглобіну та білірубину в крові, що чинить токсичний вплив на тканини організму. Крім того, активація імунної системи супроводжується вивільненням прозапальних цитокінів, що сприяє розвитку системної запальної реакції. Бабезіоз у собак супроводжується комплексом патоморфологічних змін, що охоплюють різні органи та системи. Найбільш виражені ураження відзначаються в печінці та нирках, що зумовлює необхідність їх детального гістологічного дослідження для поглиблення розуміння патогенезу захворювання [2, 11, 12].

Незважаючи на значну кількість досліджень, що відображають клінічні аспекти перебігу бабезіозу, лікування та профілактики, патоморфологічні зміни внутрішніх органів, особливо на тканинному рівні, залишаються недостатньо вивченими. Детальне вивчення морфологічних змін у печінці та нирках дає змогу глибше зрозуміти патогенез захворювання й обґрунтувати підходи до діагностики та лікування [12, 13].

Мета дослідження

Мета дослідження – вивчити патоморфологічні зміни у печінці та нирках собак при бабезіозі.

Матеріали і методи

Матеріалом для дослідження були трупи собак ($n = 8$), які надійшли після загибелі внаслідок бабезіозу з ветеринарної клініки «Айболить» (м. Полтава). Діагноз попередньо підтверджували на підставі клінічних ознак і лабораторних досліджень периферичної крові (наявності *Babesia* spp.). Зі зразків крові готували тонкі мазки, висушували на повітрі та фіксували в метанолі протягом 3–5 хвилин. Мазки фарбували за допомогою набору Лейкодиф 200 (Erba Lachema, Чехія).

Патолого-анатомічний розтин, відбір патологічного матеріалу та патоморфологічні дослідження проводили на кафедрі нормальної і патологічної анатомії та фізіології тварин факультету ветеринарної медицини Полтавського державного аграрного університету. У процесі дослідження вивчали морфологічні зміни органів і тканин собак, які загинули внаслідок бабезіозу.

Патологоанатомічні дослідження проводили відповідно до загальноприйнятих методик розтину тварин з повним макроскопічним оглядом органів і систем. Особливу увагу приділяли органам гепаторенальної системи. Під час розтину оцінювали розміри, форму, консистенцію, колір органів, стан капсули, характер поверхні та вигляд на розрізі. Для виготовлення гістологічних препаратів шматочки органів розміром $1,0 \times 1,0 \times 0,5$ см. фіксували у 10 Н % нейтральному розчині формаліну протягом 24–48 годин. Після фіксації матеріал піддавали стандартній схемі виготовлення гістологічних препаратів: зневодненню у спиртах зростаючої концентрації та заливці у парафін. З отриманих парафінових блоків на мікротомі виготовляли зрізи товщиною 10–25 мкм. Гістологічні препарати фарбували за стандартною методикою гематоксилином і еозином. Підготовка зразків включала депарафінізацію зрізів, дегідратацію у спиртах, фарбування гематоксилином та еозином, зневоднення, просвітлення та заключення у бальзам. Мікроскопічне дослідження та мікрофотофіксацію здійснювали за допомогою світлового мікроскопа XS-3330 LED MICROmed при збільшеннях $\times 40$, $\times 100$ та $\times 400$, а також цифровою відеокамерою SIGETA M3CMOS на 8,5 Мпікс (Китай). Оцінювали загальну морфологічну зміну органів, стан паренхіми та судинного русла, а також наявність дистрофічних, некротичних і запальних змін.

Результати та їх обговорення

Патолого-анатомічне дослідження собак, уражених збудниками бабезіозу, виявило характерні зміни в органах гепаторенальної системи, зумовлені розвитком гемолітичного синдрому. При макроскопічному дослідженні печінки встановлено збільшення її розмірів, заокруглення країв та

наявність локальних ділянок ущільнення паренхіми. Капсула органу була напруженою, гладенькою і блискучою (**рис. 1**). Загальний макроскопічний стан печінки свідчив про розвиток дистрофічних і гемодинамічних порушень, характерних для бабезіозної інвазії.

Колір нерівномірний: від темно-червоного до буро-коричневого, з ділянками застійної гіперемії. Нерівномірність забарвлення зумовлена поєднанням венозного застою, гемолізу та дистрофічних процесів у паренхімі. На розрізі тканина печінки повнокровна, з поверхні виступає значна кількість крові.

Часточкова будова згладжена. Жовчний міхур збільшений, переповнений густою, в'язкою жовтю жовто-зеленого кольору, що є ознакою холестазу. На деяких ділянках спостерігали дрібні підкапсулярні крововиливи, що вказують на підвищену проникність судинної стінки та розвиток геморагічного синдрому. Виявлені зміни свідчать про виражене токсичне та гіпоксичне ураження печінкової паренхіми.

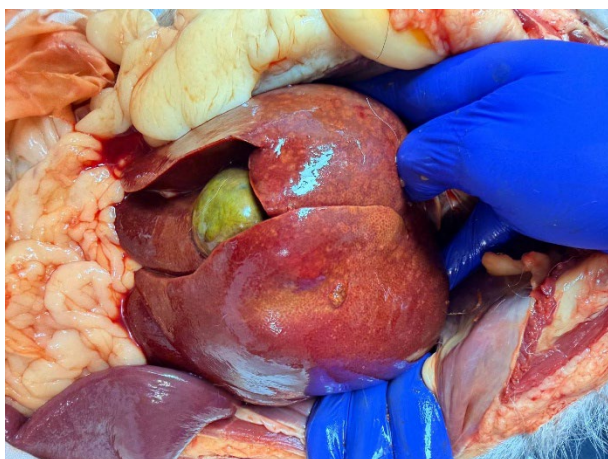


Рис. 1. Патолого-анатомічні зміни печінки у собаки, хворої на бабезіоз (гепатомегалія, заокруглення країв, напруження капсули)

Гістологічним дослідженням печінки собак, хворих на бабезіоз, встановлено порушення гістоархітекτονіки органу, що проявлялося дезорганізацією печінкових балок та наявністю вогнищевих і дифузних дистрофічних змін гепатоцитів (**рис. 2 А**). Виявлені морфологічні зміни свідчать про розвиток виражених метаболічних порушень у паренхімі печінки, зумовлених розладами мікроциркуляції та тканинною гіпоксією.

У більшості досліджених препаратів спостерігалася значне розширення кровоносних судин, просвіт яких був переповнений еритроцитами, клітинним детритом і продуктами розпаду формених елементів крові. Такі зміни відображають суттєві порушення внутрішньоорганної гемодинаміки, характерні для гемолітичного процесу при бабезіозі. Розвиток судинних розладів супроводжувався токсичним і гіпоксичним ушкодженням паренхіми печінки з формуванням периваскулярних зон дистрофії гепатоцитів (**рис. 2 Б**).

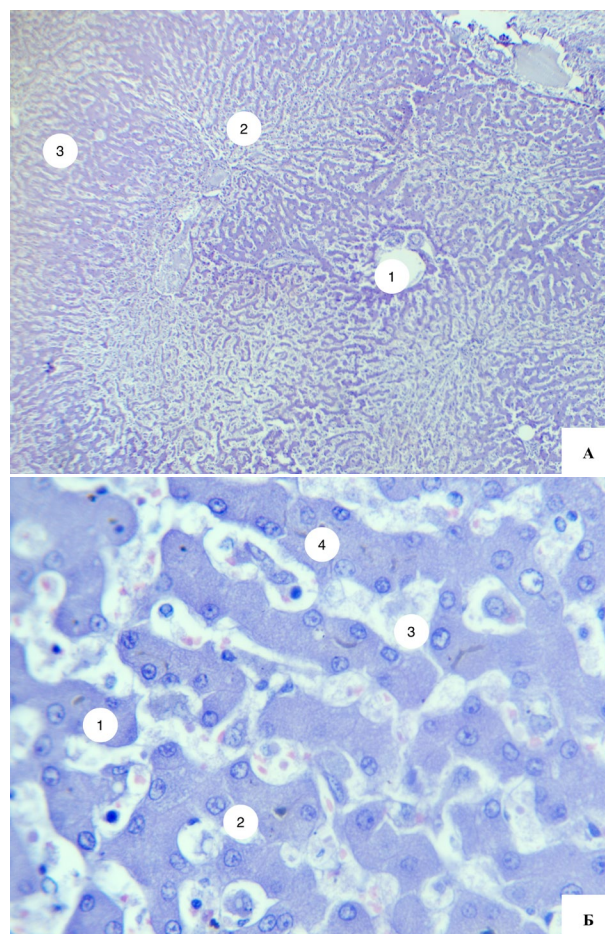


Рис. 2. Гістологічні зміни печінки у собак при бабезіозі:

А – 1 – центральна вена печінкової часточки; 2 – дезорганізація гепатоцитів; 3 – розширення печінкових балок (забарвлення гематоксином та еозином $\times 40$); Б – 1 – гепатоцит із дистрофічними змінами; 2 – ядро гепатоцита; 3 – розширений синусоїдний гемокапіляр; 4 – ендотелій синусоїдного гемокапіляра (забарвлення гематоксином та еозином $\times 400$)

Патоморфологічним дослідженням нирок (**рис. 3**) було встановлено збільшення органа в розмірах та наявність вираженого венозного застою. Капсула нирок була напруженою та легко відокремлювалася від поверхні органу. Колір нирок варіював від темно-червоного до буро-червоного. На розрізі чітко простежувалася кортико-медулярна диференціація. Кіркова речовина була кровонаповненою, темно-червоного кольору, тоді як мозкова речовина також мала темно-червоне забарвлення з ознаками застійної гіперемії. Виявлені зміни свідчили про виражені розлади кровообігу в нирках собак, уражених бабезіозом.

Гістологічним дослідженням встановлено набряк паренхіми нирок. У ділянці ниркової миски та чашечок виявлялася значна кількість темної, іноді майже чорної рідини, що відповідає гемолізованій крові та продуктам розпаду гемоглобіну, характерним для гемоглобінурії. Судини різко розширені та переповнені кров'ю. Гістологічним дослідженням нирок було встановлено наявність комплексу морфологічних змін, що охоплює усі структурні компоненти нефрону та судинного русла.



Рис. 3. Патолого-анатомічні зміни нирок у собаки, хворої на бабезіоз (збільшення органу, венозний застій, застійна гіперемія кіркової та мозкової речовини)

Виявлені ураження мали поліморфний характер, включаючи канальцеві, гломерулярні та судинні зміни, що формувалися внаслідок поєднання внутрішньосудинного гемолізу, гіпоксії та порушень мікроциркуляції. Морфологічні зміни були спричинені розвитком гострого пошкодження нирок із переважанням некротично-дистрофічних процесів.

Найбільш виражені зміни локалізувались в епітелії звивистих канальців (*рис. 4 А, Б*), що характеризувалось зернистою та вакуольною дистрофією епітеліоцитів, набряком клітин, каріорексисом та каріолізісом, десквамацією епітелію та розширенням просвітів канальців.

У просвітах канальців візуалізувалися еозинофільні та бурі маси, що відповідають пігментним (гемоглобіновим) циліндрам. Зазначені зміни свідчили про розвиток гострого канальцевого некрозу. Його формування було зумовлене токсичною дією вільного гемоглобіну, який утворився внаслідок масивного внутрішньосудинного гемолізу за бабезіозу. Додатковим чинником була ішемія, що поглиблювала ушкодження епітелію. Функціонально це призводило до різкого порушення реабсорбційної здатності канальців і сприяло розвитку гострої ниркової недостатності. У ниркових клубочках виявлялися морфологічні зміни, для яких характерні гіперемія капілярних петель, стаз формених елементів крові, частковий колапс капілярів у частині клубочків, нерівномірність структури клубочків і розширення простору капсули Боумена.

Вказані зміни відображали мікроциркуляторні порушення (*рис. 5 А, Б*), що виникали внаслідок агрегації еритроцитів, підвищення в'язкості крові та стазу. Ішемічні процеси в клубочках призводили до зниження ефективності клубочкової фільтрації.

Одночасно активація запальних та імунних механізмів сприяла мезангіальній проліферації, що додатково порушувала морфологічну будову клубочка. У судинах нирок спостерігалися потовщення судинної стінки, набряк і дистрофія ендотелію, а також звуження просвіту судин.

Морфологічні зміни нирок супроводжувалися значними функціональними порушеннями, такими, як зниження клубочкової фільтрації, порушення канальцевої реабсорбції, розвиток олігурії та накопичення азотистих продуктів обміну. У підсумку формувалася клінічна картина гострої ниркової недостатності, яка була однією з провідних причин летальності за бабезіозу собак.

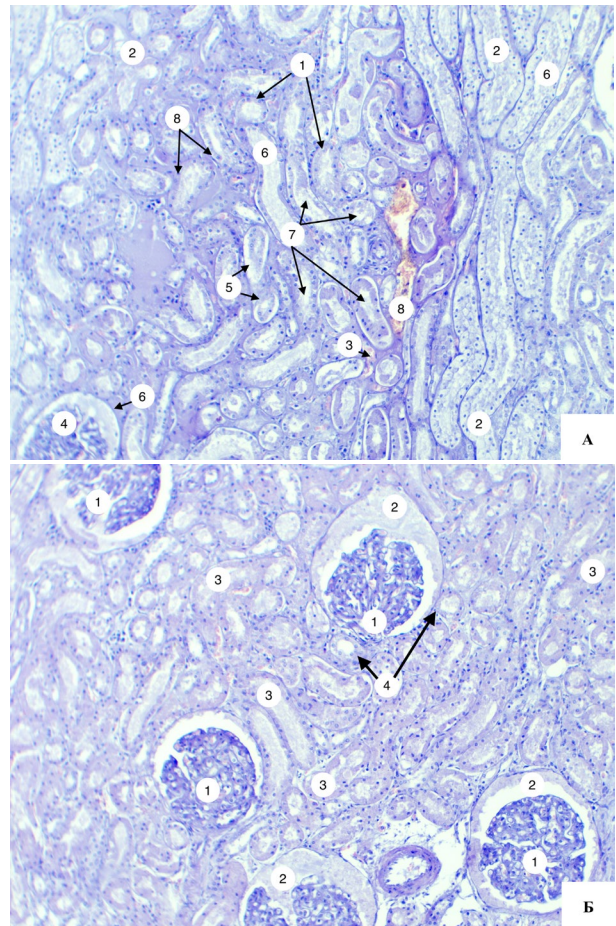


Рис. 4. Гістологічні зміни нирок у собак при бабезіозі:

А – мозкова зона: 1 – проксимальні звивисті канальці; 2 – дистальні звивисті канальці; 3 – кровонаповнення капілярів; 4 – нефрон; 5 – капсула нефрона; 6 – нирковий клубочок; 7 – фільтрат; 8 – гемокапілярний стаз; 9 – зерниста та вакуольна дистрофія епітеліоцитів. Б – кіркова зона: 1 – нефрон; 2 – капсула нефрону; 3 – клітинний дендрит у просвіті ниркових канальців. Забарвлення гематоксилином та еозином, $\times 100$

Таким чином, гістологічне дослідження нирок собак при бабезіозі демонструє поєднання дистрофічних, некротичних і судинних змін. Провідними є гострий некроз епітеліоцитів канальців, гломерулярні порушення мікроциркуляції та тромбози судин. Комплексний характер уражень свідчить про системний вплив захворювання та підтверджує ключову роль гемолітичної інтоксикації, ішемії та коагулопатії у розвитку ниркової патології.

Отримані результати свідчать про те, що бабезіоз собак супроводжується комплексними морфологічними змінами печінки та нирок, що відображають системний характер патологічного процесу.

Виявлені макроскопічні та гістологічні зміни узгоджуються із сучасними уявленнями про патогенез захворювання та його вплив на органи гепаторенальної системи [10, 11].

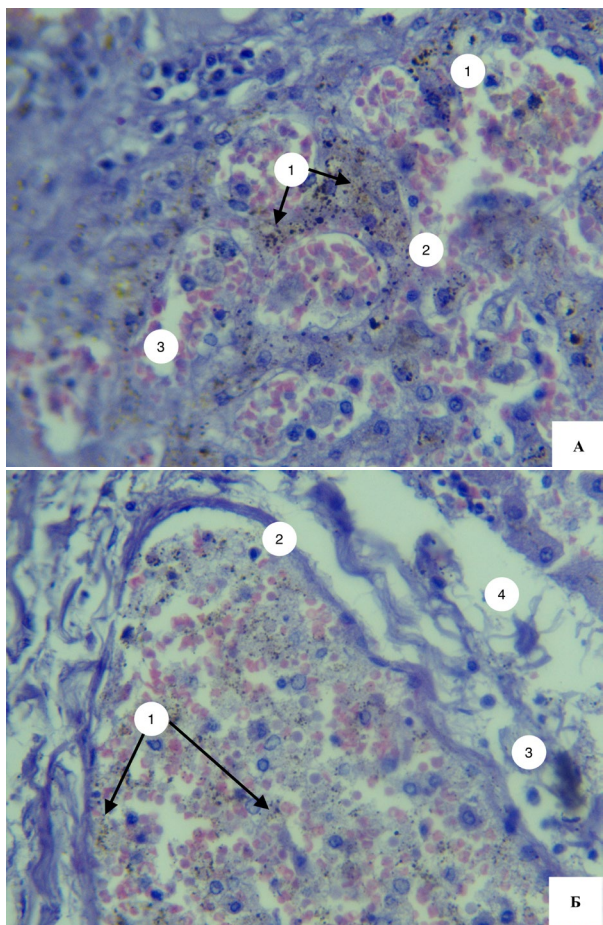


Рис. 5. Гістологічні зміни нирок у собак при бабезіозі:

А – порушення гемоциркуляції ($\times 100$), 1 – накопичення зерен гемосидерину; 2 – мукоїдне набухання сполучної тканини; 3 – стінка кровоносної судини; Б – гемокапілярне кровонаповнення ($\times 400$), 1 – накопичення зерен гемосидерину; 2 – інтима судини; 3 – клітинний дендрит у просвіті ниркових канальців; 4 – мукоїдне набухання сполучної тканини.
Забарвлення гематоксилином та еозином

Встановлені під час дослідження зміни печінки, зокрема гепатомегалія, заокруглення країв органа, венозне повнокрів'я, порушення гістоархітекtonіки печінкових часточок і дистрофічні зміни гепатоцитів, відповідають описаним у науковій літературі морфологічним проявам бабезіозу [12–14]. За даними дослідників, ураження печінки при цьому захворюванні пов'язане з поєднаним впливом гемодинамічних розладів, тканинної гіпоксії та метаболічної інтоксикації, що призводить до розвитку дистрофічних процесів у паренхімі органа та порушення його функціонального стану [15, 16]. Виявлене перепоповнення жовчного міхура також узгоджується з повідомленнями про розлади жовчовиділення та внутрішньопечінковий холестаз за тяжкого перебігу бабезіозу [17].

Патоморфологічні зміни нирок характеризувалися венозним застоєм, повнокрів'ям, дистрофічними та некротичними змінами канальцевого епітелію,

а також порушенням мікроциркуляції в клубочковому апараті. Подібний комплекс змін описується в літературі як характерний для гемоглобінурійного нефрозу, що розвивається внаслідок масивного внутрішньосудинного гемолізу та токсичного впливу продуктів розпаду еритроцитів на нефрони [17]. Виявлені ознаки ураження судинного русла нирок підтверджують важливу роль мікроциркуляторних розладів у розвитку ниркової патології при бабезіозі.

Сучасні дослідження також підкреслюють значення системної запальної відповіді, ендотеліальної дисфункції та цитокінового дисбалансу в патогенезі тяжких форм бабезіозу [18, 19]. Встановлені у нашому дослідженні судинні зміни, що проявлялися повнокрів'ям, стазом крові та структурними порушеннями судинної стінки, підтверджують участь зазначених механізмів у формуванні органної патології. Порушення мікроциркуляції сприяє розвитку гіпоксичних процесів у тканинах, що посилює дистрофічні та некротичні зміни паренхіматозних органів.

Таким чином, результати проведених досліджень підтверджують, що морфологічні зміни печінки та нирок при бабезіозі собак мають взаємопов'язаний характер і формуються внаслідок поєднаної дії гемолітичного синдрому, циркуляторних розладів та ендогенної інтоксикації. Виявлений комплекс патоморфологічних змін відповідає проявам гепаторенального синдрому та свідчить про розвиток поліорганного ураження, характерного для тяжкого перебігу захворювання. Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників, які розглядають бабезіоз як системну патологію з високим ризиком розвитку поліорганної недостатності [20–22].

Висновки

Проведені дослідження показали, що бабезіоз собак характеризується розвитком виражених макроскопічних і гістологічних змін у печінці та нирках. Основними морфологічними проявами ураження були венозне повнокрів'я, порушення мікроциркуляції, дистрофічні та некротичні зміни паренхіми органів. Сукупність виявлених змін підтверджує системний характер патологічного процесу та свідчить про формування гепаторенального синдрому як одного з провідних проявів тяжкого перебігу бабезіозу собак.

Перспективи подальших досліджень. У подальших дослідженнях плануємо вивчити терапевтичну ефективність різних схем лікування бабезіозу у собак.

ДЕКЛАРАЦІЇ

Етична заява

Автор заявляє, що у цьому дослідженні використовувався виключно постмортальний матеріал. Дослідження проводили на ізольованих органах гепаторенальної системи, відріжених під час патолого-анатомічного розтину трупів собак, які загинули внаслідок спонтанного бабезіозу у ветеринарній клініці «Айболить» (м. Полтава) та були доставлені на кафедру нормальної і патологічної анатомії та

фізіології тварин ПДАУ. Жодна жива тварина не була використана, навмисно евтаназована або піддана больовим маніпуляціям заради цього експерименту.

Процедура відбору матеріалу повністю відповідала Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» (№ 3447-IV) та Директиві 2010/63/EU Європейського Парламенту і Ради про захист тварин, що використовуються для наукових цілей. Протокол дослідження офіційно затверджено Комісією з питань біоетичної експертизи Полтавського державного аграрного університету (протокол № 1 F/I від 12.01.2026 р.).

Фінансування

Дослідження не отримувало зовнішнього фінансування.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів.

Подяки

Немає.

Декларація щодо використання ШІ та технологій на основі ШІ

Автор заявляє, що не використовував штучний інтелект або технології на основі ШІ під час підготовки цього рукопису.

References

- Fazilani, S. A., An, W., Li, S., Hassan, M. F., Ishfaq, M., Lakho, S. A., Farooque, M., Shoaib, M., & Zhang, X. (2024). Unrevealing the therapeutic potential of artesunate against emerging zoonotic *Babesia microti* infection in the murine model. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1383291>
- Goddard, A., Schoeman, J. P., Leisewitz, A. L., Thompson, P. N., & Kristensen, A. T. (2026). Thromboinflammation in dogs with virulent babesiosis. *Frontiers in Veterinary Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1712262>
- Pawelczyk, O., Kotela, D., Asman, M., Witecka, J., Wilhelmsson, P., Bubel, P., & Solarz, K. (2022). The first records of canine babesiosis in dogs from *Dermacentor reticulatus* – free zone in Poland. *Pathogens*, 11 (11), 1329. <https://doi.org/10.3390/pathogens11111329>
- Cloete, H. P. P., Rautenbach, Y., Leisewitz, A. L., Mellanby, R. J., Thompson, P. N., & Schoeman, J. P. (2024). Prevalence of co-infections with *Ehrlichia* spp. or *Theileria* spp. in dogs naturally infected with babesiosis in the Eastern Cape province. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 54, 101092. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2024.101092>
- Zygner, W., Gójska-Zygner, O., Bartosik, J., Górski, P., Karabowicz, J., Kotomski, G., & Norbury, L. J. (2023). Canine babesiosis caused by large *Babesia* species: Global prevalence and risk factors – a review. *Animals*, 13 (16), 2612. <https://doi.org/10.3390/ani13162612>
- Abdoli, A., Olfatifar, M., Badri, M., Zaki, L., Bijani, B., Pirestani, M., Hatam-Nahavandi, K., Eslahi, A. V., & Karanis, P. (2024). A global systematic review and meta-analysis on the babesiosis in dogs with special reference to *Babesia canis*. *Veterinary Medicine and Science*, 10 (3). <https://doi.org/10.1002/vms3.1427>
- Pawelczyk, O., Iwase, P., Wierzb, B., Kretschmer, M., Wojtyczka, R., & Solarz, K. (2024). A Retrospective epidemiological analysis of microscopically detected babesiosis in dogs of Southern Poland (2018–2022). *Pathogens*, 13 (12), 1104. <https://doi.org/10.3390/pathogens13121104>
- Panti-May, J. A., & Rodríguez-Vivas, R. I. (2020). Canine babesiosis: A literature review of prevalence, distribution, and diagnosis in Latin America and the Caribbean. *Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports*, 21, 100417. <https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2020.100417>
- Kaliuzhnyi, N., & Kruchynenko, O. (2025). The spread of canine babesiosis and risk factors in the city of Poltava, Ukraine. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (3), 234–238. <https://doi.org/10.31210/spi2025.28.03.35>
- Kuleš, J., Rubić, I., Farkaš, V., Barić Rafaj, R., Gotić, J., Crnogaj, M., Burchmore, R., Eckersall, D., Mrljak, V., & Leisewitz, A. L. (2023). Serum proteome profiling of naturally acquired *Babesia rossi* infection in dogs. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37312-9>
- Zygner, W., Gójska-Zygner, O., & Norbury, L. J. (2023). Pathogenesis of anemia in canine babesiosis: Possible contribution of pro-inflammatory cytokines and chemokines – a review. *Pathogens*, 12 (2), 166. <https://doi.org/10.3390/pathogens12020166>
- Wężyk, D., Romanczuk, K., Rodo, A., Kavalevich, D., & Bajer, A. (2023). Haematological indices and immune response profiles in dogs naturally infected and co-infected with *Dirofilaria repens* and *Babesia canis*. *Scientific Reports*, 13 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-29011-2>
- Leisewitz, A. L., Mrljak, V., Dear, J. D., & Birkenheuer, A. (2023). The diverse pathogenicity of various *Babesia* parasite Species that infect dogs. *Pathogens*, 12 (12), 1437. <https://doi.org/10.3390/pathogens12121437>
- Obeta, S. S., Ibrahim, B., Lawal, I. A., Natala, J. A., Ogo, N. I., & Balogun, E. O. (2020). Prevalence of canine babesiosis and their risk factors among asymptomatic dogs in the federal capital territory, Abuja, Nigeria. *Parasite Epidemiology and Control*, 11, e00186. <https://doi.org/10.1016/j.parepi.2020.e00186>
- Jasik, K., Kleczka, A., & Filipowska, S. (2023). Histopathological analysis of selected organs of rats with congenital babesiosis caused by *Babesia microti*. *Veterinary Sciences*, 10 (4), 291. <https://doi.org/10.3390/vetsci10040291>
- Baneth, G. (2018). Antiprotozoal treatment of canine babesiosis. *Veterinary Parasitology*, 254, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2018.03.001>
- Bumby, M., Clift, S., Hooijberg, E., & Leisewitz, A. (2024). Cytological and histopathological bone marrow findings in dogs with natural *Babesia rossi* infection. *Journal of the South African Veterinary Association*, 95 (2), 156–166. <https://doi.org/10.36303/jsava.626>
- Hajiabbasi, M., Shah, N., Bhatt, N., & Malik, M. S. (2024). Atypical haemolytic uremic syndrome in a patient with severe Babesiosis. *BMJ Case Reports*, 17 (6), e260735. <https://doi.org/10.1136/bcr-2024-260735>
- Mateja, H. L., Yglesias, B., Tapias, E., & Mashburn, P. (2024). Babesiosis presenting as splenic rupture in the midwest: A case report. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.57659>
- Cook, M., & Puri, B. (2024). Babesiosis: Analysis of the evidence for infections in the united kingdom. *International Journal of General Medicine*, 17, 4627–4631. <https://doi.org/10.2147/ijgm.s485759>
- Mendoza, F. J., Pérez-Écija, A., Kappmeyer, L. S., Suarez, C. E., & Bastos, R. G. (2024). New insights in the diagnosis and treatment of equine piroplasmosis: pitfalls, idiosyncrasies, and myths. *Frontiers in Veterinary Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1459989>
- Azhar, M., Gadahi, J. A., Bhutto, B., Tunio, S., Vistro, W. A., Tunio, H., Bhutto, S., & Ram, T. (2023). Babesiosis: Current status and future perspectives in Pakistan and chemotherapy used in livestock and pet animals. *Heliyon*, 9 (6), e17172. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17172>

ORCID

N. Kalyuzhnyi 

<https://orcid.org/0009-0004-3576-4606>



2026 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Histopathological and immunohistochemical evaluation of renal tissue in rats following chronic low-dose cadmium exposure and the nephroprotective potential of N-acetylcysteine

M. A. Chayan¹ | S. R. Fadhil² | Q. Z. Alsayyid³

Article info

Correspondence Author

S. R. Fadhil

E-mail:

sfadhil@uowasit.edu.iq

¹ College of Dentistry,
University of Thi-Qar,
Thi-Qar, 64001, Iraq

² College of Medicine,
University of Wasit,
Kut, Wasit, 52001, Iraq

³ Veterinary Teaching Hospital
in Wasit, Ministry of
Agriculture,
Kut, Wasit, 52001, Iraq

Citation: Chayan, M. A., Fadhil, S. R., & Alsayyid, Q. Z. (2026). Histopathological and immunohistochemical evaluation of renal tissue in rats following chronic low-dose cadmium exposure and the nephroprotective potential of N-acetylcysteine. *Scientific Progress & Innovations*, 29(1), 272–280. doi: 10.31210/spi2026.29.01.42

Cadmium is a nephrotoxic heavy metal that progressively accumulates within renal tissue, inducing structural injury. This study evaluated the histopathological, morphometric, and immunohistochemical effects of chronic low-dose cadmium exposure on rat kidneys and investigated the nephroprotective potential of N-acetylcysteine. Thirty adult male Sprague-Dawley rats were divided into three groups: control; cadmium chloride (0.5 mg/kg orally twice weekly for eight weeks); and cadmium chloride concurrently with N-acetylcysteine (150 mg/kg/day intraperitoneally). Renal sections were processed for hematoxylin-eosin, Periodic Acid-Schiff, and Masson's trichrome staining, and for immunohistochemical localization of Caspase-3 and Ki-67. Quantitative morphometric analysis demonstrated that chronic cadmium exposure increased the kidney-to-body weight ratio by 29.6 %, reduced mean glomerular diameter by 22 % (82.4 ± 3.1 versus 105.6 ± 4.2 micrometers; $p=0.004$), caused a 38 % decrease in tubular lumen area ($p<0.001$), and triggered a 4.1-fold expansion of interstitial fibrosis ($15.8 \pm 1.2\%$ versus $3.9 \pm 0.5\%$; $p=0.001$). Immunohistochemical data revealed that cadmium provoked a 3.2-fold elevation in Caspase-3 expression ($18.2 \pm 2.1\%$ versus $5.6 \pm 1.0\%$; $p=0.002$) and a 45 % suppression of the Ki-67 proliferative labeling index ($9.3 \pm 1.4\%$ versus $17.0 \pm 1.8\%$; $p=0.008$), indicating accelerated apoptosis and compromised regeneration. A strong positive correlation was identified between interstitial fibrosis and Caspase-3 expression (Pearson $r = 0.89$, $p<0.001$). Co-administration of N-acetylcysteine significantly attenuated these alterations: interstitial fibrosis was reduced by 62 % ($6.7 \pm 0.9\%$; $p=0.003$), mean glomerular diameter was partially restored to 96.1 ± 3.8 micrometers, tubular lumen area recovered to $61.2 \pm 2.9\%$ ($p=0.02$), Caspase-3 expression decreased to $8.3 \pm 1.2\%$ ($p=0.01$), and the Ki-67 labeling index rose to $13.5 \pm 1.3\%$ ($p=0.04$). Collectively, these findings prove that chronic cadmium exposure induces apoptosis-driven fibrosis, whereas N-acetylcysteine provides substantial nephroprotection by suppressing cell death, preventing fibrosis, and partial restoring proliferative capacity.

Keywords: cadmium nephrotoxicity, N-acetylcysteine, renal histopathology, oxidative stress, rat model, immunohistochemistry, tubular injury, interstitial fibrosis, apoptosis, cellular proliferation.

Гістопатологічна та імуногістохімічна оцінка тканини нирок щурів за хронічного впливу низьких доз кадмію та нефропротекторний потенціал N-ацетилцистеїну

М. А. Чаян¹ | С. Р. Фадхіл² | К. З. Алсайд³

¹ Коледж стоматології,
Університет Ті-Кар,
Ті-Кар, Ірак

² Коледж медицини,
Університет Васіт,
Кут, Васіт, Ірак

³ Ветеринарна клінічна
лікарня Васіту, Міністерство
сільського господарства,
Кут, Васіт, Ірак

Кадмій є нефротоксичним важким металом, який поступово накопичується в тканинах нирок, спричиняючи їхнє структурне ушкодження. У цьому дослідженні оцінено гістопатологічні, морфометричні та імуногістохімічні ефекти хронічного впливу низьких доз кадмію на нирки щурів, а також вивчено нефропротекторний потенціал N-ацетилцистеїну. Тридцять дорослих самців щурів лінії Спрег-Довлі були розділені на три групи: контрольну; групу кадмію, яка отримувала хлорид кадмію (0,5 мг/кг перорально двічі на тиждень протягом восьми тижнів); та групу лікування, яка отримувала хлорид кадмію одночасно з N-ацетилцистеїном (150 мг/кг/добу внутрішньочеревно). Зрізи нирок обробляли для фарбування гематоксиліном-еозином, за методом Шиффа та трихромом за Массоном, а також для імуногістохімічного виявлення Каспази-3 та Ki-67. Кількісний морфометричний аналіз показав, що хронічний вплив кадмію збільшив відношення маси нирок до маси тіла на 29,6 %, зменшив середній діаметр клубочків на 22 % ($82,4 \pm 3,1$ порівняно з $105,6 \pm 4,2$ мікрметра; $p=0,004$), спричинив звуження площі просвіту каналців на 38 % ($p<0,001$) та викликав 4,1-кратне розростання фіброзної тканини ($15,8 \pm 1,2\%$ порівняно з $3,9 \pm 0,5\%$; $p=0,001$). Імуногістохімічні дані свідчать, що кадмій викликав 3,2-кратне підвищення експресії Каспази-3 ($18,2 \pm 2,1\%$ порівняно з $5,6 \pm 1,0\%$; $p=0,002$) та 45 % пригнічення індексу проліферативного маркування Ki-67 ($9,3 \pm 1,4\%$ порівняно з $17,0 \pm 1,8\%$; $p=0,008$), що вказує на прискорений апоптоз та порушення регенерації. Було виявлено сильний позитивний кореляційний зв'язок між інтерстиціальним фіброзом та експресією Каспази-3 (коефіцієнт Пірсона $r = 0,89$, $p<0,001$). Супутнє введення N-ацетилцистеїну нівелювало ці зміни: інтерстиціальний фіброз зменшився на 62 % ($6,7 \pm 0,9\%$; $p=0,003$), середній діаметр клубочків частково відновився до $96,1 \pm 3,8$ мікрметра, площа просвіту каналців відновилася до $61,2 \pm 2,9\%$ ($p=0,02$), експресія Каспази-3 знизилася до $8,3 \pm 1,2\%$ ($p=0,01$), а індекс маркування Ki-67 зріс до $13,5 \pm 1,3\%$ ($p=0,04$). У сукупності ці результати доводять, що хронічний вплив кадмію викликає фіброз, зумовлений апоптозом, тоді як N-ацетилцистеїн забезпечує суттєву нефропротекцію шляхом пригнічення загибелі клітин, запобігання фіброзу та часткового відновлення проліферативної здатності.

Ключові слова: нефротоксичність кадмію, N-ацетилцистеїн, гістопатологія нирок, оксидативний стрес, модель на щурах, імуногістохімія, ушкодження каналців, інтерстиціальний фіброз, апоптоз, клітинна проліферація.



Бібліографічний опис для цитування: Чаян М. А., Фадхіл С. Р., Алсайд К. З. Гістопатологічна та імуногістохімічна оцінка тканини нирок щурів за хронічного впливу низьких доз кадмію та нефропротекторний потенціал N-ацетилцистеїну. *Scientific Progress & Innovations*. 2026. № 29 (1). С. 272–280.

Introduction

Cadmium (Cd) is a non-essential toxic heavy metal recognized as one of the most hazardous environmental pollutants due to its persistence, bioaccumulation, and long biological half-life [1, 2].

Human exposure occurs through contaminated food, drinking water, industrial emissions, cigarette smoke, batteries, pigments, electroplating processes, and phosphate fertilizers [3, 4]. Because cadmium is poorly eliminated from the body, chronic exposure results in progressive accumulation, particularly within the liver and kidneys, where it may remain for decades [2, 5].

The kidney is considered the principal target organ of chronic cadmium toxicity. After absorption, cadmium binds to metallothionein and is transported to the renal cortex, where it accumulates within proximal tubular epithelial cells [6].

Once intracellular storage capacity is exceeded, free cadmium ions induce cellular injury through oxidative stress, mitochondrial dysfunction, membrane damage, and disruption of intracellular signaling pathways [7, 8]. Consequently, prolonged exposure may lead to tubular degeneration, impaired reabsorption, proteinuria, glucosuria, aminoaciduria, and progressive deterioration of renal function [9].

Chronic cadmium nephropathy is characterized by structural and functional alterations involving both tubular and glomerular compartments. Histopathological studies have demonstrated tubular epithelial degeneration, loss of brush borders, tubular necrosis, inflammatory infiltration, glomerular atrophy, and interstitial fibrosis following sustained cadmium exposure [10, 11]. These pathological changes contribute to the progression of chronic kidney disease and may eventually culminate in renal failure [12].

Oxidative stress is considered a central mechanism underlying cadmium-induced renal injury. Cadmium indirectly stimulates the generation of reactive oxygen species while simultaneously depleting endogenous antioxidant defenses, including glutathione and antioxidant enzymes [13]. The resulting imbalance promotes lipid peroxidation, protein oxidation, DNA damage, inflammation, apoptosis, and extracellular matrix accumulation [14].

Activation of apoptotic pathways, particularly those involving caspase-3 – a key executioner protease whose cytoplasmic expression serves as a definitive molecular signature of programmed cell death – has been consistently reported in experimental models of cadmium nephrotoxicity [15].

This study, by combining immunohistochemical detection of caspase-3 with quantification of the proliferative marker Ki-67, aimed to characterize both the apoptotic burden and the regenerative capacity of renal tissue under cadmium exposure. In parallel, suppression of cellular proliferation may impair tissue regeneration and delay recovery from injury [16].

N-acetylcysteine is a well-established antioxidant and precursor of glutathione synthesis. In addition to directly scavenging reactive oxygen species, it restores intracellular redox balance and modulates signaling

pathways associated with inflammation, fibrosis, and apoptosis [17, 18].

Several experimental studies have reported beneficial effects of N-acetylcysteine against toxicant-induced renal injury; however, comprehensive evaluations combining histopathological, morphometric, and immunohistochemical assessments in chronic low-dose cadmium exposure models remain limited [19, 20–24].

The aim of the study

Therefore, the present study aimed to evaluate the histopathological, morphometric, and immunohistochemical effects of chronic low-dose cadmium chloride exposure on rat kidneys, and to assess the nephroprotective efficacy of N-acetylcysteine by quantifying renal structural integrity, interstitial fibrosis, caspase-3-mediated apoptosis, and Ki-67-indexed cellular proliferation.

Materials and methods

Experimental animals and study design

Thirty healthy adult male Sprague-Dawley rats weighing 200–220 g were obtained from the Animal House Unit of the College of Veterinary Medicine, University of Wasit. Following a one-week acclimatization period, animals were randomly allocated into three equal groups ($n = 10$ per group) and maintained under standard laboratory conditions ($22 \pm 2^\circ\text{C}$; 12 h light/12 h dark cycle) with unrestricted access to food and water throughout the experimental period.

The study groups were designated as follows:

Group I (Control): Animals received normal saline orally and intraperitoneally for eight weeks.

Group II (Cadmium): Animals received cadmium chloride (CdCl_2) at a dose of 0.5 mg/kg body weight orally, twice weekly for eight weeks.

Group III (Cadmium + N-acetylcysteine): Animals received cadmium chloride as described for Group II together with N-acetylcysteine at a dose of 150 mg/kg/day administered intraperitoneally throughout the experimental period.

The selected cadmium dosage was based on previously validated protocols capable of inducing chronic renal injury without causing significant mortality.

Tissue collection and processing

At the end of the eight-week exposure period, animals were anesthetized using ketamine (80 mg/kg) and xylazine (10 mg/kg). Both kidneys were surgically excised and carefully examined.

The right kidney was weighed for determination of the kidney-to-body weight ratio. Tissue samples were fixed in 10 % neutral buffered formalin for 48 hours, dehydrated through graded ethanol solutions, cleared in xylene, and embedded in paraffin wax. Serial sections of 4 μm thickness were prepared using a rotary microtome.

Histological and immunohistochemical examination

Renal tissue sections were subjected to routine histological and immunohistochemical staining as follows:

- Hematoxylin and Eosin (H&E) staining: evaluation of general renal architecture and pathological alterations.

- Periodic Acid-Schiff (PAS) staining: assessment of basement membrane integrity and proximal tubular brush borders.

- Masson's Trichrome staining: visualization and quantification of collagen deposition and interstitial fibrosis.

For immunohistochemistry, the following primary antibodies were employed:

- Rabbit anti-rat caspase-3 antibody (Abcam, ab13847; dilution 1:200): assessment of apoptotic activity.

- Mouse monoclonal anti-Ki-67 antibody (Dako, M7240; dilution 1:150): evaluation of cellular proliferative activity.

Antigen retrieval was performed using citrate buffer (pH 6.0), followed by visualization using a diaminobenzidine chromogen system and hematoxylin counterstaining.

Histopathological scoring

Histopathological lesions were evaluated independently by two blinded veterinary histopathologists using a semi-quantitative scoring system adapted from previously published renal injury assessment protocols. Tubular damage, glomerular alterations, and interstitial inflammatory changes were graded according to lesion severity.

Tubular injury was graded from 0 to 4, where 0 indicated normal morphology and 4 represented extensive tissue involvement. Glomerular alterations and interstitial inflammation were similarly assessed using standardized severity scales.

Morphometric analysis

Morphometric measurements were performed using *ImageJ* software (Version 1.53, National Institutes of Health, USA). Digital images were captured using an *Olympus BX53* microscope equipped with a *DP27* digital camera.

The following parameters were quantitatively assessed:

- Mean glomerular diameter (μm).
- Tubular lumen area expressed as a percentage of total tubular cross-sectional area.
- Percentage of interstitial fibrotic area in Masson's trichrome-stained sections.

For each animal, measurements were obtained from multiple randomly selected non-overlapping microscopic fields, and the mean value was used for statistical analysis.

Statistical analysis

Statistical analyses were performed using *SPSS* software version 28. Data were expressed as mean $\pm$ standard error of the mean (SEM). Data distribution was evaluated using the Shapiro-Wilk test.

Comparisons among experimental groups were performed using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's *post hoc* test for multiple

comparisons. Correlations between quantitative variables were assessed using Pearson's correlation coefficient. Statistical significance was considered at $p < 0.05$.

Results and discussion

Gross and biometric findings

Macroscopic examination of kidneys obtained from the control group revealed normal renal morphology characterized by a smooth surface, firm consistency, and a uniform reddish-brown appearance.

In contrast, kidneys from cadmium-exposed rats exhibited a pale discoloration, mild enlargement, and cortical mottling, indicating early toxic injury to the renal parenchyma.

These observations were supported by biometric analysis (*Table 1*). The kidney-to-body weight ratio increased significantly in the cadmium-treated group (0.92 %) compared with the control group (0.71 %; $p = 0.01$), representing an increase of approximately 29.6 %. This elevation is commonly associated with renal edema, inflammatory infiltration, and cellular hypertrophy induced by toxic injury [1, 4].

Table 2

Kidney-to-body weight ratio (%) in control, cadmium-exposed, and N-acetylcysteine-treated rats after 8 weeks of intervention (n = 10)

Experimental Group	Kidney / Body Weight Ratio (%)	Mean $\pm$ SEM	p-value (vs. Control)
Control	0.68–0.74	0.71 $\pm$ 0.03	–
Cd	0.86–0.98	0.92 $\pm$ 0.04	0.01**
Cd + NAC	0.73–0.83	0.78 $\pm$ 0.03	0.09

Note: Significant increase in kidney weight ratio in the Cd group indicates edema, inflammatory infiltration, or cellular hypertrophy. NAC co-administration partially reversed this effect. ** $p < 0.01$.

Administration of N-acetylcysteine partially reversed this alteration, reducing the kidney-to-body weight ratio to 0.78 %. Although this value remained slightly higher than that of the control group, it was significantly lower than that observed in cadmium-exposed animals, suggesting attenuation of renal inflammation and tissue swelling.

The observed increase in renal mass following cadmium exposure agrees with previous reports demonstrating that chronic cadmium accumulation induces inflammatory responses and structural remodeling within renal tissue [3, 6]. The improvement observed in the N-acetylcysteine-treated group may be attributed to restoration of intracellular glutathione levels and suppression of oxidative injury pathways [8, 12]. Subsequent microstructural changes and tissue alterations were graded using specific semi-quantitative evaluation criteria (*Table 2*).

To systematically evaluate the structural severity of cadmium-induced nephrotoxicity and the potential protective effects of N-acetylcysteine, a comprehensive semi-quantitative scoring system was utilized (*Table 2*). This assessment specifically focused on three vulnerable renal compartments: tubular damage (including vacuolation, necrosis, and brush border loss), glomerular alterations (such as shrinkage and capillary tuft

condensation), and the extent of interstitial inflammation. The high inter-observer agreement (Cohen's $\kappa = 0.89$) confirms the reliability and reproducibility of the scoring criteria employed across all experimental groups.

Table 2
Histopathological scoring criteria used for semi-quantitative assessment of renal tissue injury in experimental rats

Parameter	Score	Description
Tubular damage	0	No detectable change
	1	Mild injury (<10 % of tubules affected: slight vacuolation, minimal casts)
	2	Moderate injury (10–25 %: focal necrosis, brush border loss)
	3	Severe injury (25–50 %: widespread necrosis, proteinaceous casts)
	4	Extensive injury (>50 %: tubular collapse, marked dilation)
Glomerular changes	0	Normal glomerular architecture
	1	Mild shrinkage or mild mesangial expansion
	2	Moderate collapse or capillary tuft condensation
	3	Severe sclerosis or global collapse
Interstitial inflammation	0	Absent
	1	Focal mononuclear infiltration
	2	Multifocal infiltration
	3	Diffuse inflammatory cell infiltrate

Note: Scoring was performed by two blinded veterinary histopathologists; inter-observer agreement (Cohen's κ) = 0.89.

Histopathological alterations

Histopathological examination of hematoxylin and eosin-stained renal sections revealed marked differences among experimental groups (Figure 1).

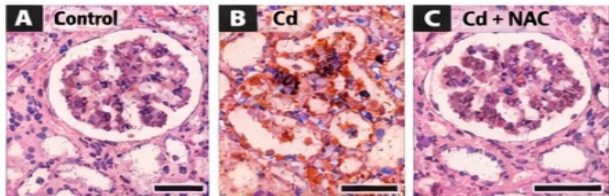


Figure 1. Representative histopathological alterations in renal cortex sections (H&E, $\times 200$):

(A) Control group showing normal renal architecture and intact glomeruli; (B) cadmium-exposed group showing glomerular shrinkage, widening of Bowman's space, and interstitial alterations; (C) cadmium + N-acetylcysteine group showing partial restoration of renal histological architecture. Scale bar = 100 μm

Kidneys from the control group displayed normal renal architecture characterized by intact glomeruli, preserved Bowman's spaces, normal proximal and distal tubules, and minimal interstitial cellularity. Proximal tubular epithelial cells exhibited normal morphology with intact brush borders and eosinophilic cytoplasm.

In contrast, cadmium-exposed animals demonstrated severe renal injury characterized by glomerular shrinkage, collapse of capillary tufts, widening of Bowman's space, associated interstitial changes, proteinaceous cast formation, and marked inflammatory cell infiltration. In addition, glomeruli exhibited varying degrees of shrinkage and collapse, accompanied by expansion of the interstitial compartment.

Representative glomerular alterations are shown in Figures 1, 2, 6, and 7, while tubular lesions were assessed throughout the examined renal cortex sections.

Periodic Acid-Schiff staining further confirmed severe disruption of proximal tubular brush borders and basement membrane integrity in cadmium-treated animals (Figure 2). These findings are consistent with the known susceptibility of proximal tubular epithelial cells to cadmium accumulation and toxicity [7, 10].

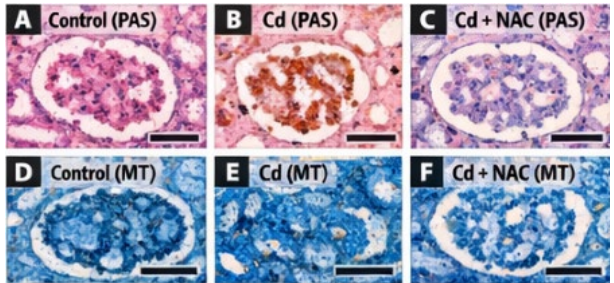


Figure 2. Histochemical evaluation of renal cortex sections using Periodic Acid-Schiff (PAS) and Masson's trichrome (MT) staining ($\times 400$):

(A–C) PAS-stained sections: (A) control group demonstrating intact basement membranes and preserved proximal tubular brush borders; (B) cadmium-exposed group displaying severe disruption of the brush border and basal lamina; (C) cadmium + N-acetylcysteine group showing restoration of tubular boundary integrity. (D–F) Masson's trichrome-stained sections: (D) control group showing minimal physiological collagen deposition; (E) cadmium-exposed group revealing marked interstitial fibrosis and expanded extracellular matrix accumulation (blue color); (F) cadmium + N-acetylcysteine group demonstrating significantly reduced collagen deposition. Scale bar = 50 μm

Semi-quantitative histopathological scoring demonstrated a significant increase across all evaluated lesion categories (Table 3). Cadmium exposure induced profound structural degradation, with tubular injury scores rising sharply from baseline control levels ($p < 0.001$). Similarly, marked elevations were observed in both glomerular injury and interstitial inflammation scores ($p < 0.001$ for all comparisons), underscores the widespread nature of cadmium-induced renal remodeling.

Table 3
Mean histopathological scores for tubular, glomerular, and interstitial alterations across experimental groups (n=10)

Parameter	Control	Cd	Cd + NAC	p-value (ANOVA)
Tubular damage score	0.2 $\pm$ 0.1	3.4 $\pm$ 0.3	1.1 $\pm$ 0.2	<0.001***
Glomerular change score	0.1 $\pm$ 0.1	2.3 $\pm$ 0.2	0.8 $\pm$ 0.2	<0.001***
Interstitial inflammation	0.0 $\pm$ 0.0	2.5 $\pm$ 0.3	0.9 $\pm$ 0.2	<0.001***

Note: All histopathological parameters were significantly worsened by cadmium exposure and significantly improved by NAC treatment (Tukey post hoc, $p < 0.01$). *** $p < 0.001$.

N-acetylcysteine treatment significantly improved renal histology. Tubular epithelial integrity was largely preserved, inflammatory infiltration was markedly reduced, and glomerular morphology approached normal

appearance. Tubular injury scores decreased substantially, indicating robust structural protection.

These findings support previous studies demonstrating that oxidative stress represents a principal mechanism of cadmium-induced nephrotoxicity [11, 13]. Cadmium promotes excessive generation of reactive oxygen species, resulting in mitochondrial dysfunction, membrane lipid peroxidation, and activation of inflammatory pathways [4, 14].

The protective effects of N-acetylcysteine observed in the present study are likely related to its antioxidant properties, enhancement of glutathione synthesis, and suppression of oxidative tissue damage [2, 8, 17]. Furthermore, the reduction of inflammatory infiltration observed in the N-acetylcysteine-treated group suggests inhibition of pro-inflammatory signaling pathways, including NF- κ B activation, which has been implicated in chronic cadmium nephropathy [11, 18].

Morphometric analysis

Quantitative morphometric assessment revealed significant structural deterioration of renal tissue following chronic cadmium exposure (**Figures 3–5**). Measurement of glomerular diameter demonstrated a marked reduction in the cadmium-treated group (82.4 μ m) compared with the control group (105.6 μ m; $p=0.004$), representing a decrease of approximately 22 % (**Figure 3**)

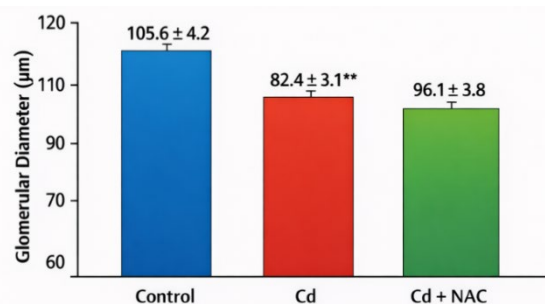


Figure 3. Mean glomerular diameter (μ m) in the renal cortex of experimental rats following chronic cadmium exposure and N-acetylcysteine treatment ($n=10$):

Bar graph demonstrates a significant reduction in glomerular diameter in the Cd group, indicating glomerular collapse, and its partial restoration following NAC co-administration. Values are expressed as mean $\pm$ SEM. ** $p<0.01$

Reduction in glomerular diameter is indicative of glomerular tuft collapse, mesangial contraction, and loss of functional filtration surface area. Such alterations are recognized hallmarks of chronic cadmium nephropathy and are frequently associated with impaired glomerular filtration and progressive renal dysfunction [5, 9]. Similar findings were reported by Liu et al. [6], who observed significant glomerular shrinkage following prolonged low-dose cadmium exposure.

Administration of N-acetylcysteine partially restored glomerular dimensions, resulting in a mean diameter of 96.1 μ m. Although complete normalization was not achieved, the substantial improvement indicates preservation of glomerular architecture and attenuation of cadmium-induced structural damage.

Assessment of tubular lumen area demonstrated a pronounced decrease in the cadmium group (42.3 %) compared with controls (68.5 %; $p<0.001$), corresponding to a 38 % reduction (**Figure 4**).

Tubular lumen narrowing reflects epithelial swelling, cellular degeneration, cast formation, and obstruction of tubular flow. These structural abnormalities contribute directly to impaired tubular transport and reabsorptive dysfunction, which are characteristic features of cadmium-induced proximal tubulopathy [7, 10].

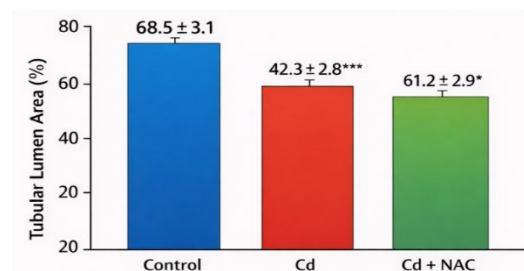


Figure 4. Tubular lumen area (% of total tubular cross-sectional area) in experimental groups ($n = 10$).

Bar graph demonstrates a significant decrease in tubular lumen area following cadmium exposure, reflecting epithelial swelling or cast obstruction, and its marked improvement with N-acetylcysteine co-administration. Values are expressed as mean $\pm$ SEM. * $p<0.05$, *** $p<0.051$

N-acetylcysteine treatment significantly improved tubular lumen preservation, increasing the lumen area to 61.2 % ($p=0.02$ versus cadmium group). This improvement suggests that antioxidant therapy effectively mitigated epithelial injury and maintained tubular patency.

The most striking morphometric alteration was observed in interstitial fibrosis. Quantification of Masson's trichrome-stained sections demonstrated a 4.1-fold increase in fibrotic area in cadmium-treated animals (15.8 %) compared with controls (3.9 %; $p= 0.001$) (**Figure 5**).

Excessive collagen accumulation within the renal interstitium is considered a key pathological event in the progression of chronic kidney disease because it progressively replaces functional parenchyma with scar tissue [4, 11].

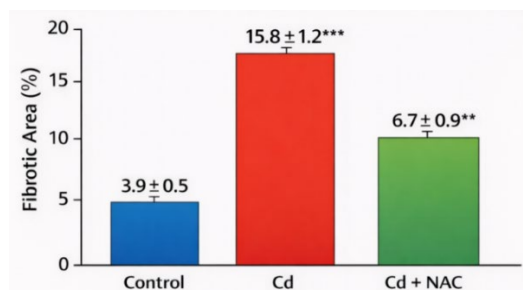


Figure 5. Quantitative assessment of interstitial fibrotic area (%) in renal cortex sections ($n = 10$).

Bar graph demonstrates a sharp elevation of extracellular matrix accumulation and collagen deposition following chronic cadmium exposure, and its significant mitigation with N-acetylcysteine therapy. Values are expressed as mean $\pm$ SEM. ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

N-acetylcysteine significantly reduced collagen deposition to 6.7 % ($p=0.003$ versus cadmium group), representing a reduction of approximately 62 %. This finding suggests that N-acetylcysteine possesses substantial anti-fibrotic activity, potentially through suppression of oxidative stress-mediated activation of transforming growth factor-beta (TGF- β)-dependent fibrogenic pathways [4, 18].

Collectively, these morphometric findings provide quantitative evidence that chronic cadmium exposure induces severe structural remodeling of renal tissue, whereas N-acetylcysteine markedly attenuates these pathological alterations.

Immunohistochemical findings

To further elucidate the molecular mechanisms underlying renal injury, immunohistochemical expression of Caspase-3 and Ki-67 was evaluated (**Figures 6 and 7**).

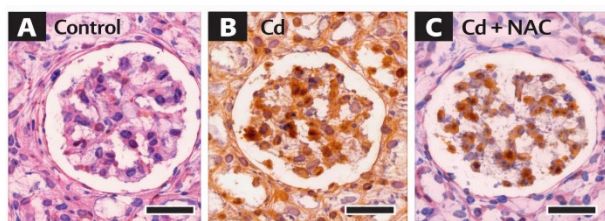


Figure 6. Caspase-3 immunohistochemical expression in renal glomerular structures of control, cadmium-exposed, and N-acetylcysteine-treated rats ($\times 400$):

Representative photomicrographs showing Caspase-3 immunoreactivity in renal glomeruli: (A) control group showing minimal baseline staining; (B) cadmium-exposed group showing marked positive cytoplasmic immunoreactivity within the glomerular tuft; (C) cadmium + N-acetylcysteine group showing significantly reduced Caspase-3 expression. Scale bar = 50 μm

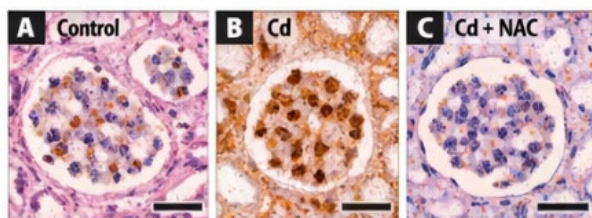


Figure 7. Ki-67 immunohistochemical expression in renal glomerular structures of experimental rats ($\times 400$):

Representative photomicrographs showing Ki-67 immunoreactivity within renal glomeruli: (A) control group demonstrating basal physiological proliferative activity; (B) cadmium-exposed group displaying a marked reduction in positive cell nuclei, indicating suppression of regenerative capacity; (C) cadmium + N-acetylcysteine group showing notable restoration of Ki-67-indexed cellular proliferation. Scale bar = 50 μm

Caspase-3 expression

Control renal tissues exhibited minimal Caspase-3 immunoreactivity, with only occasional weak cytoplasmic staining observed in tubular epithelial cells. The mean labeling index was 5.6 % (**Table 4**).

In contrast, cadmium exposure induced a marked increase in Caspase-3 expression. Strong diffuse cytoplasmic staining was observed throughout the

proximal tubular epithelium, and the labeling index increased to 18.2 %, representing a 3.2-fold elevation compared with controls ($p=0.002$).

Table 4

Caspase-3 immunohistochemical labeling index (%) in renal tubular epithelium across experimental groups

Group	Caspase-3 Labeling Index (%)	Mean $\pm$ SEM	Fold Change vs. Control	p-value (vs. Control)
Control	4.2–6.8	5.6 $\pm$ 1.0	1.0 $\times$	–
Cd	15.1–21.3	18.2 $\pm$ 2.1	3.2 $\times$	0.002
Cd + NAC	6.9–9.8	8.3 $\pm$ 1.2	1.5 $\times$	0.01

Note: Caspase-3 labeling index reflects the percentage of positively stained tubular epithelial cells per high-power field ($\times 400$). Elevated index in Cd group confirms activation of apoptotic pathways.

Activation of Caspase-3 is a critical indicator of apoptosis and reflects irreversible commitment of cells to programmed cell death. The observed increase confirms that apoptosis represents a major mechanism of cadmium-induced renal injury.

Previous investigations have demonstrated that cadmium disrupts mitochondrial membrane integrity, promotes cytochrome-c release, and activates downstream caspase-dependent apoptotic pathways [5, 13, 15].

Treatment with N-acetylcysteine significantly reduced Caspase-3 expression to 8.3 % ($p=0.01$ versus cadmium group). This reduction suggests effective suppression of oxidative stress-induced apoptosis through restoration of intracellular glutathione levels and stabilization of mitochondrial function [2, 8].

Ki-67 expression

Ki-67 immunostaining revealed abundant nuclear positivity in tubular epithelial cells of control animals, with a mean labeling index of 17.0 % (**Table 5**), indicating normal cellular turnover and regenerative activity.

Table 5

Ki-67 immunohistochemical labeling index (%) indicating cellular proliferation in renal tubules

Group	Ki-67 Labeling Index (%)	Mean $\pm$ SEM	% Reduction vs. Control	p-value (vs. Control)
Control	14.8–19.2	17.0 $\pm$ 1.8	–	–
Cd	7.1–11.5	9.3 $\pm$ 1.4	45	0.008
Cd + NAC	11.2–15.7	13.5 $\pm$ 1.3	21	0.04

Note: Ki-67 nuclear positivity signifies active cell cycling. Suppression in the Cd group indicates impaired regenerative capacity, partially rescued by NAC.

Cadmium exposure significantly suppressed proliferative activity, reducing Ki-67 expression to 9.3 % ($p=0.008$), corresponding to a 45 % reduction relative to controls. This decline indicates impairment of tissue regeneration and diminished capacity for repair following toxic injury.

Suppression of proliferative signaling has been reported previously in association with cadmium-induced oxidative DNA damage, cell-cycle arrest, and mitochondrial dysfunction [6, 14]. Consequently, the simultaneous occurrence of increased apoptosis

and reduced proliferation creates a pathological environment favoring progressive tissue loss and fibrosis.

To further investigate the relationship between this cellular destruction and chronic tissue remodeling, a correlation analysis was performed (**Figure 8**). A highly significant, strong positive correlation was detected between the interstitial fibrotic area and the Caspase-3 labeling index (Pearson $r = 0.89$, $p=0.001$). This robust statistical association suggests that programmed cell death is directly intertwined with extracellular matrix deposition, meaning that the acceleration of apoptotic pathways and the parallel shutdown of Ki-67-mediated proliferation act as primary driving events that trigger subsequent interstitial scar tissue deposition.

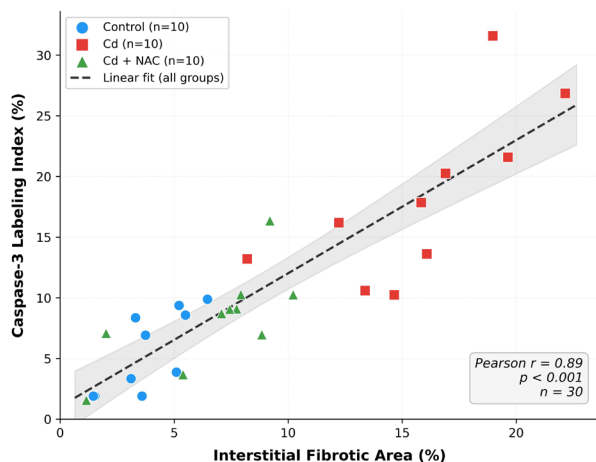


Figure 8. Pearson correlation between interstitial fibrotic area (%) and Caspase-3 labeling index (%) across all experimental groups ($n = 30$):

Scatter plot demonstrates a strong positive correlation (Pearson $r = 0.89$, $p<0.001$), indicating a tight mechanistic link between the execution of programmed cell death (apoptosis) and the progression of chronic renal remodeling (interstitial fibrosis). The shaded area represents the 95 % confidence interval for the linear fit line

Administration of N-acetylcysteine partially restored proliferative activity, increasing the Ki-67 labeling index to 13.5 % ($p=0.04$ versus cadmium group). Restoration of cellular proliferation likely contributed to the improved histological architecture and reduced fibrosis observed in treated animals.

Taken together, the immunohistochemical findings demonstrate that cadmium-induced nephrotoxicity is characterized by activation of apoptotic pathways and suppression of regenerative mechanisms, whereas N-acetylcysteine exerts significant cytoprotective effects through simultaneous inhibition of apoptosis and enhancement of tissue repair processes.

The present study demonstrated that chronic low-dose cadmium exposure (0.5 mg/kg body weight, twice weekly for 8 weeks) induced significant renal injury in Sprague-Dawley rats at both structural and molecular levels. Cadmium exposure increased the kidney-to-body weight ratio by 29.6 %, reduced mean glomerular diameter by 22 % (82.4 ± 3.1 vs. 105.6 ± 4.2 μm ; $p=0.004$), decreased tubular lumen area by 38 % (42.3 ± 2.8 % vs. 68.5 ± 3.1 %;

$p<0.001$), and increased interstitial fibrosis 4.1-fold (15.8 ± 1.2 % vs. 3.9 ± 0.5 %; $p=0.001$).

Immunohistochemical analysis revealed a 3.2-fold increase in Caspase-3 expression (18.2 ± 2.1 % vs. 5.6 ± 1.0 %; $p=0.002$) accompanied by a 45 % reduction in the Ki-67 labeling index (9.3 ± 1.4 % vs. 17.0 ± 1.8 %; $p=0.008$), indicating enhanced apoptosis and impaired regenerative capacity. A strong positive correlation between fibrosis and Caspase-3 expression ($r = 0.89$, $p<0.001$) further supports the mechanistic association between apoptotic activity and renal fibrogenesis.

Co-administration of N-acetylcysteine (150 g/kg/day, *i.p.*) significantly attenuated all cadmium-induced renal alterations: interstitial fibrosis was reduced by 62 % (from 15.8 ± 1.2 % to 6.7 ± 0.9 %; $p=0.003$), glomerular diameter was partially restored (96.1 ± 3.8 μm), tubular lumen area recovered to 61.2 ± 2.9 % ($p=0.02$), Caspase-3 expression decreased to 8.3 ± 1.2 % ($p=0.01$), and the Ki-67 labeling index increased to 13.5 ± 1.3 % ($p=0.04$). These quantitative outcomes confirm that N-acetylcysteine confers substantial nephroprotection through simultaneous suppression of oxidative stress, inhibition of apoptosis, attenuation of fibrogenesis, and partial restoration of cellular proliferative capacity.

Collectively, the results identify apoptosis-driven fibrosis as a major pathological mechanism of chronic cadmium nephrotoxicity and support N-acetylcysteine as a promising therapeutic strategy for reducing renal damage associated with long-term cadmium exposure.

Conclusions

The present study provides clear quantitative evidence that chronic low-dose cadmium exposure induces severe renal remodeling at both structural and molecular levels, which is characterized by the following outcomes:

- **Parenchymal Damage:** Cadmium exposure significantly alters renal biometrics and microarchitecture, causing a 29.6 % increase in the kidney-to-body weight ratio, a 22 % reduction in mean glomerular diameter ($p=0.004$), and a 38 % narrowing of the tubular lumen area ($p<0.001$).

- **Fibrotic Axis:** Chronic toxicity triggers extensive tissue remodeling, resulting in a 4.1-fold increase in interstitial fibrosis ($p=0.001$). This structural degradation is tightly linked to cellular destruction, as evidenced by a strong positive correlation between fibrogenesis and Caspase-3 expression ($r = 0.89$, $p<0.001$).

- **Molecular Imbalance:** At the cellular level, cadmium shifts the tissue balance toward degeneration by inducing a 3.2-fold elevation in Caspase-3-mediated apoptosis ($p=0.002$) and a parallel 45 % suppression of Ki-67-indexed cellular proliferation ($p=0.008$).

- **NAC Protection:** Co-administration of N-acetylcysteine effectively halts this pathology. It reduces interstitial fibrosis by 62 % ($p=0.003$), downregulates Caspase-3 expression to 8.3 ± 1.2 % ($p=0.01$), and restores cellular proliferation to 13.5 ± 1.3 % ($p=0.04$), while preserving overall glomerular and tubular patency.

Collectively, these findings identify apoptosis-driven fibrosis as a central mechanism of chronic cadmium nephrotoxicity and support N-acetylcysteine as a highly

effective nephroprotective strategy capable of mitigating long-term heavy metal-induced kidney injury.

DECLARATIONS

Ethical Statement

All experimental procedures and animal handling protocols in this study were strictly conducted in accordance with the national legislation of Iraq, the ARRIVE 2.0 guidelines, and the ethical principles governing the use of laboratory animals in biomedical research.

The experimental design and study protocol were formally reviewed and officially approved by the Institutional Ethics Committee of the College of Veterinary Medicine, University of Wasit, Iraq (Approval No.: UOW.VET.EC.2025.232). Every possible effort was proactively made to minimize animal suffering, reduce procedural distress, and optimize the total number of animals utilized throughout the investigation.

Funding

This research received no external funding.

Conflict of Interest

The author declares no conflict of interest.

Acknowledgements

None.

Declaration of AI and AI-assisted technologies

The authors declare that no artificial intelligence tools were utilized in the generation, interpretation, manipulation, or reporting of the scientific results presented in this manuscript. Artificial intelligence-assisted tools were employed solely for language editing and grammatical improvement of the manuscript text, without influencing the scientific content, data analysis, core findings, or conclusions.

Availability of Data and Materials

The datasets generated and analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

References

1. Odewumi, C. O., Badisa, V. L., Le, U. T., Latinwo, L. M., Ikediobi, C. O., Badisa, R. B., & Darling-Reed, S. F. (2011). Protective effects of N-acetylcysteine against cadmium-induced damage in cultured rat normal liver cells. *International Journal of Molecular Medicine*, 27 (2), 243–248. <https://doi.org/10.3892/ijmm.2010.564>
2. Wang, J., Zhu, H., Liu, X., & Liu, Z. (2014). N-acetylcysteine protects against cadmium-induced oxidative stress in rat hepatocytes. *Journal of Veterinary Science*, 15 (4), 485. <https://doi.org/10.4142/jvs.2014.15.4.485>
3. Yang, Y., Hassan, M. F., Ali, W., Zou, H., Liu, Z., & Ma, Y. (2025). Effects of cadmium pollution on Human Health: A narrative review. *Atmosphere*, 16 (2), 225. <https://doi.org/10.3390/atmos16020225>
4. Zhou, J., Huang, Y., Li, G., Zhao, Z., Deng, Y., Xian, S., Hu, Y., Yi, M., & Liu, L. (2026). Cadmium exposure induces renal fibrosis by inhibiting hsa circ_0075684/miR-363-3p/KLF4 signaling pathway. *Scientific Reports*, 16 (1), 8754. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-39715-w>
5. Wong, V. Y., Keller, P. M., Nuttall, M. E., Kikly, K., DeWolf, W. E., Lee, D., Ali, S. M., Nadeau, D. P., Grygielko, E. T., Laping, N. J., & Brooks, D. P. (2001). Role of caspases in human renal proximal tubular epithelial cell apoptosis. *European Journal of Pharmacology*, 433 (2-3), 135–140. [https://doi.org/10.1016/s0014-2999\(01\)01517-5](https://doi.org/10.1016/s0014-2999(01)01517-5)
6. Liu, Q., Zhang, R., Wang, X., Shen, X., Wang, P., Sun, N., Li, X., Li, X., & Hai, C. (2019). Effects of sub-chronic, low-dose cadmium exposure on kidney damage and potential mechanisms. *Annals of Translational Medicine*, 7 (8), 177. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.03.66>
7. Prozialeck, W. C., & Edwards, J. R. (2010). Early biomarkers of cadmium exposure and nephrotoxicity. *BioMetals*, 23 (5), 793–809. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9288-2>
8. Sonpol, H. M. A., Taha, M., Bedeer, R. F., Ali, L. S., Baokbah, T. A. S., Farage, A. E., Elsisy, R. A., & Abdelkareem, M. A. (2021). Ameliorating effect of N-acetylcysteine on iron toxicity of the liver and pancreas in albino rats: Histochemical and ultrastructural study. *European Journal of Anatomy*, 25 (4), 385–396.
9. Safari Maleki, A., Hayes, A. W., & Karimi, G. (2024). Enhancing renal protection against cadmium toxicity: the role of herbal active ingredients. *Toxicology Research*, 13 (6). <https://doi.org/10.1093/toxres/tfae222>
10. Bautista, C. J., Arango, N., Plata, C., Mitre-Aguilar, I. B., Trujillo, J., & Ramirez, V. (2024). Mechanism of cadmium-induced nephrotoxicity. *Toxicology*, 502, 153726. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2024.153726>
11. Ren, Z., Zheng, Y., Liu, J., Liu, Z., Chen, J., Liu, H., Qi, R., & Ma, H. (2025). Cadmium induces the secretion of SASP factors regulated by MAPK and NF-κB signaling pathways in HEK293 cells: A possible mechanism of acute kidney damage induced by cadmium. *Toxicology*, 515, 154166. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2025.154166>
12. Dong, W., Zhang, K., Gong, Z., Luo, T., Li, J., Wang, X., Zou, H., Song, R., Zhu, J., Ma, Y., Liu, G., & Liu, Z. (2023). N-acetylcysteine delayed cadmium-induced chronic kidney injury by activating the sirtuin 1–P53 signaling pathway. *Chemico-Biological Interactions*, 369, 110299. <https://doi.org/10.1016/j.cbi.2022.110299>
13. Farjad, E., & Momeni, H. R. (2018). Silymarin ameliorates oxidative stress and enhances antioxidant defense system capacity in cadmium-treated mice. *Cell Journal*, 20 (3), 422–426. <https://doi.org/10.22074/cellj.2018.5355>
14. Nair, A., DeGheselle, O., Smeets, K., Van Kerkhove, E., & Cuypers, A. (2013). Cadmium-induced pathologies: Where is the oxidative balance lost (or not)? *International Journal of Molecular Sciences*, 14 (3), 6116–6143. <https://doi.org/10.3390/ijms14036116>
15. Renugadevi, J., & Milton Prabu, S. (2010). Quercetin protects against oxidative stress-related renal dysfunction by cadmium in rats. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 62 (5), 471–481. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2009.06.006>
16. Satarug, S., Garrett, S. H., Sens, M. A., & Sens, D. A. (2010). Cadmium, environmental exposure, and health outcomes. *Environmental Health Perspectives*, 118 (2), 182–190. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901234>
17. Genchi, G., Sinicropi, M. S., Lauria, G., Carocci, A., & Catalano, A. (2020). The effects of cadmium toxicity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17 (11), 3782. <https://doi.org/10.3390/ijerph17113782>
18. Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, 7 (2), 60–72. <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009>
19. Johri, N., Jacquillet, G., & Unwin, R. (2010). Heavy metal poisoning: the effects of cadmium on the kidney. *BioMetals*, 23 (5), 783–792. <https://doi.org/10.1007/s10534-010-9328-y>
20. Thévenod, F. (2009). Cadmium and cellular signaling cascades: To be or not to be? *Toxicology and Applied Pharmacology*, 238 (3), 221–239. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2009.01.013>
21. Brzóska, M. M., Rogalska, J., Galażyn-Sidorczuk, M., Jurczuk, M., Roszczenko, A., Kulikowska-Karpińska, E., & Moniuszko-Jakoniuk, J. (2007). Effect of zinc supplementation on bone metabolism in male rats chronically exposed to cadmium. *Toxicology*, 237 (1-3), 89–103. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2007.05.001>

22. Wang, B., & Du, Y. (2013). Cadmium and its neurotoxic effects. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 2013, 1–12.
<https://doi.org/10.1155/2013/898034>
23. Patra, R. C., Rautray, A. K., & Swarup, D. (2011). Oxidative stress in lead and cadmium toxicity and its amelioration. *Veterinary Medicine International*, 2011, 1–9.
<https://doi.org/10.4061/2011/457327>
24. Almansour, M. I., Alferah, M. A., Shraideh, Z. A., & Jarrar, B. M. (2017). Zinc oxide nanoparticles hepatotoxicity: Histological and histochemical study. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 51, 124–130.
<https://doi.org/10.1016/j.etap.2017.02.015>

ORCID

M. A. Chayan 
S. R. Fadhil 
Q. Z. Alsayyid 

<https://orcid.org/0009-0001-2404-0053>
<https://orcid.org/0009-0002-9590-5533>
<https://orcid.org/0009-0002-4892-6702>



2025 by the author(s). This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Журнал

«Scientific Progress & Innovations»

Том 29, № 1

2026

Підписано до друку з оригінал-макета 25.06.2026

Тираж 200 прим. Зам. № 1

Ум. друк. арк. 17,66. Формат 60х90/8

Відповідальний редактор: Мельничук В. В.

Літературний редактор: Дедушно А. В.

Куратор з індексів DOI: Коваленко В. О.

Комп'ютерна верстка та дизайн: Мельничук В. В.

Видавець і виготовлювач:

Полтавський державний аграрний університет

Адреса: 36003, вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна

Тел. (0532) 500273, E-mail: pdau@pdau.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7933 від 13.09.2023 р.