

Formation of corn grain yield and quality depending on mineral nutrition rates and nitrification inhibitors

V. Bidnyna✉

Article info

Correspondence Author

V. Bidnyna

E-mail:

vitalii.bidnyna@astarta.ua

Poltava State Agrarian

University,

1/3, Skovorody str., Poltava,

36003, Ukraine

Citation: Bidnyna, V. (2025). Formation of corn grain yield and quality depending on mineral nutrition rates and nitrification inhibitors. *Scientific Progress & Innovations*, 28 (1), 37–42. doi: 10.31210/spi2025.28.01.07

Corn is a globally consumed cereal crop that has found widespread application in numerous industries due to its physiological properties. This has led to an increase in its cultivation volumes, which currently exceed 1 billion tons, requiring significant amounts of synthetic nitrogen fertilizers. To enhance their efficiency in agricultural practice, nitrification inhibitors are used, reducing nitrification and N₂O emissions from soils. The aim of this study is to determine the impact of mineral nutrition rates and nitrification inhibitors on corn grain yield and quality. The research was conducted in 2023 under field conditions at VP "Hoholeve" LLC "Agrofirma imeni Dovzhenka" (Poltava region) using the RGT Lipexx corn hybrid (FAO 290). The study established that after the application of UAN-32 with Ultra Boost for NH₃ (1.5 L/ha), the nitrogen level in the soil increased on average by 28.4 %, 15.5 %, and 13.4 % in the respective horizons of 0–20 cm, 20–40 cm, and 40–60 cm. The highest nitrogen content was recorded in the plot where 300 kg/ha of UAN-32 was applied, exceeding the levels in plots with lower fertilizer doses by 7.9–18.0 %. It was determined that a positive nitrogen content dynamic in the soil after six months was observed only in the plots with 250 and 300 kg/ha of UAN-32 in the upper horizons. The highest yield (70.6 q/ha) was obtained in the plot with 300 kg/ha of UAN-32 and UBfNH₃, which was 22.1 % higher than the control. It was found that grain bulk density varied from 792 to 816 g/L, and the weight of 1000 kernels ranged from 264 to 306 g depending on the UAN-32 application scheme combined with UBfNH₃, indicating the influence of fertilizers on grain production. The protein, starch, and fat content increased with higher UAN-32 application rates, with the maximum values (11.0 %, 70.0 %, and 7.0 %, respectively) recorded in the plot with 300 kg/ha of UAN-32. The research results confirm the high efficiency of using UAN-32 (300 kg/ha) in combination with UBfNH₃ to improve corn grain yield and quality.

Keywords: *Zea mays* L., efficiency, bulk density, 1000 kernel weight, moisture, protein, fat, starch.

Формування врожайності й якості зерна кукурудзи залежно від норм мінерального живлення й інгібіторів нітрифікації

В. Ю. Біднина

Полтавський державний
аграрний університет,
м. Полтава, Україна

Кукурудза є зерновою культурою, що споживається у всьому світі, та набула широкого використання у багатьох галузях завдяки своїм фізіологічним властивостям. Це обумовлює збільшення обсягів її вирощування, що наразі перевищують 1 млрд т, і потребують значних норм синтетичних азотних добрив. Для підвищення ефективності їх використання у сільськогосподарській практиці використовують інгібітори нітрифікації, що призводить до зниження нітрифікації та викиду N₂O з ґрунтів. Метою дослідження є визначення впливу норм мінерального живлення й інгібіторів нітрифікації на врожайність і якість зерна кукурудзи. Дослідження проведено у 2023 р. в польових умовах на території ВП «Гоголеве» ТОВ «Агрофірма імені Довженка» (Полтавська область) з використанням гібриду кукурудзи RGT Ліпекс (FAO 290). У статті встановлено, що після внесення КАС-32 з Ultra Boost for NH₃ (1,5 л/га) рівень азоту в ґрунті збільшився в середньому на 28,4, 15,5 та 13,4 % у відповідних горизонтах 0–20 см, 20–40 см і 40–60 см. Найвищий рівень азоту зафіксовано на ділянці з внесенням 300 кг/га КАС-32, що перевищувало показники ділянок із меншими дозами добрива на 7,9–18,0 %. Визначено, що позитивна динаміка вмісту азоту в ґрунті через пів року спостерігалася лише на ділянці з внесенням 250 і 300 кг/га КАС-32 у верхніх горизонтах. Найвища врожайність (70,6 ц/га) отримана на ділянці з внесенням 300 кг/га КАС-32 та UBfNH₃, що на 22,1 % більше за контроль. Встановлено, що натура зерна змінювалася від 792 до 816 г/л, а маса 1000 зерен – від 264 до 306 г залежно від схеми внесення КАС-32 разом з UBfNH₃, що свідчить про вплив добрив на формування зернової продукції. Вміст білка, крохмалю та жиру підвищувався зі збільшенням норми КАС-32, а максимальні значення (11,0 %, 70,0 % та 7,0 % відповідно) зафіксовані на ділянці з 300 кг/га КАС-32. Результати дослідження підтверджують високу ефективність використання КАС-32 (300 кг/га) у поєднанні з UBfNH₃ для підвищення врожайності та якості зерна кукурудзи.

Ключові слова: *Zea mays* L., ефективність, натура, маса 1000 зерен, вологість, білок, жир, крохмаль.

Бібліографічний опис для цитування: Біднина В. Ю. Формування врожайності й якості зерна кукурудзи залежно від норм мінерального живлення й інгібіторів нітрифікації. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. № 28 (1). С. 37–42.

Вступ

Останнім часом популярність і значення кукурудзи зросли [1, 2], що пов'язано з фізіологічними властивостями рослини та напрямками використання (кормовий, продовольчий і технічний, що включає виробництво біогазу та біопалива) [3]. Зерно кукурудзи містить кілька основних компонентів, які є важливими для його харчового та технічного використання, а саме: крохмаль – 67–70 %, воду – 12–15 %, білок – 8–11 %, жир – 5–7 %, вітаміни групи В і Е, мікроелементи (цинк, магній, кальцій, марганець, залізо) [4]. Ці компоненти роблять кукурудзу важливим продуктом для харчування та корму для тварин.

Кукурудза (*Zea mays* L.) є найбільш урожайної зерновою сільськогосподарською культурою, посівні площі якої в світі перевищують 180 млн га [5]. При цьому обсяги виробництва зерна у 2024 р. становили 1214,3 млн т, з яких 31,1 і 24,3 % приходились на США і Китай відповідно. Україна з обсягами в 2,2 % (26,5 млн т) посідала 7 місце після Індії у світовому виробництві кукурудзи [6]. Це найнижчий врожай культури з 2017 р. (24,1 тис. т) за найменших посівних площ у 4,1 тис. га з 2015 р. та низької врожайності в 6,46 т/га з 2022 р. [7]. Причинами таких негативних тенденцій є повномасштабна війна на території України та несприятливі кліматичні умови 2024 р. (висока температура повітря за низьких опадів).

Оскільки кукурудза – швидкоростуча рослина, вона має високу потребу в основних поживних речовинах, брак яких може уповільнити ріст і знизити її продуктивність [8]. При вирощуванні кукурудзи дефіцит поживних речовин на ключових стадіях росту може вплинути на продуктивність рослин [9]. Наукові дослідження підтверджують, що підвищення врожайності завдяки внесенню добрив може становити 30–50 % [10, 11]. Однак це можливо лише за умови застосування науково обґрунтованих методів захисту культур від шкідників, хвороб і бур'янів, використання ефективних технологій обробітку ґрунту [12].

Важливим фактором є забезпечення рослин усіма необхідними макро- та мікроелементами як із ґрунту, так і з внесених добрив [13]. Дослідники рекомендують звернути увагу на те, що кукурудза створює певний стрес для ґрунту через високу потребу в поживних речовинах, оскільки для досягнення високої продуктивності рослин використовуються необґрунтовані норми азотних добрив [14]. Азот є одним із основних елементів живлення рослин при інтенсифікації рослинництва [15]. Правильне та раціональне використання азоту не тільки забезпечує стабільність урожайності, а й покращує біологічну та технологічну цінність посівів, змінює хімічний склад ґрунту, може негативно впливати на природне середовище [16]. Під час вирощування кукурудзи азот слід використовувати у вищих нормах, але без шкоди екологічним вимогам [17], щоб не погіршувати хімічні, біологічні та фізичні властивості ґрунту [18].

Для зменшення втрат азоту (N) з ґрунтів використовуються інгібітори нітрифікації [19–21], які також виявили свою ефективність щодо підвищення врожайності сільськогосподарських культур і зменшенні викидів оксиду азоту (N_2O) [22]. Виробництво N_2O в ґрунті залежить від нітратів (NO_3^-) і амонію (NH_4^+), що забезпечуються мінеральними або органічними азотними добривами [23]. Інгібітори нітрифікації уповільнюють перетворення NH_4^+ в NO_3^- шляхом зниження ферментативної активності бактерій, які окиснюють амоній, що призводить до зниження нітрифікації та викиду N_2O з ґрунтів [24]. Однак їх ефективність у підвищенні врожайності й ефективності використання азоту з добрив суттєво різниться в залежності від типів ґрунтів [25].

Мета дослідження

Мета дослідження полягає у визначенні впливу норм мінерального живлення й інгібіторів нітрифікації на врожайність і якість зерна кукурудзи в умовах лівобережного Лісостепу України.

Завдання дослідження:

- дослідити зміну вмісту азоту в різних шарах ґрунту за різних схем внесення КАС-32 з інгібітором нітрифікації;
- дослідити врожайність кукурудзи за різних схем удобрення;
- проаналізувати якість зерна кукурудзи залежно від норм внесення КАС-32;
- за результатами визначити ефективність різних схем удобрення.

Матеріали і методи

Дослідження проведено у 2023 р. в польових умовах на території ВП «Гоголеве» ТОВ «Агрофірма імені Довженка» (с. Гоголеве, Шишацький район, Полтавська область). Ґрунтовий покрив дослідних ділянок представлений чорноземом типовим малогумусним із високим ступенем деградації, що містить: N – 126,0 мг/кг; P – 140,7 мг/кг; K – 122,7 мг/кг.

За схемою досліду восени було внесено добриво КАС-32 у поєднанні з інгібітором нітрифікації Ultra Boost for NH_3 на чотирьох експериментальних ділянках, кожна з яких займала 7 га (*табл. 1*).

Препарат Ultra Boost for NH_3 ($UBfNH_3$) є рідким засобом, який застосовується разом із КАС або безводним аміаком та виконує функцію інгібітора нітрифікації. До його складу входять такі кислоти: гумінові (17,8 %), фульвові (4,77 %) та ульмінові (1,19 %).

Передпосівний обробіток ґрунту включав:

1. Осінню культивуацію трактором Case-310 і культиватором Wil-Rich Quadx (ширина захвату – 11,2 м, глибина обробітку – 12 см із заробкою добрив).
2. Весняне боронування (закриття вологи) трактором Fendt 936 Vario із зубовою бороною БШЗ 21.
3. Передпосівну культивуацію трактором Fendt 936 Vario з дисковою бороною LEMKEN Gigant 10/1000 (ширина захвату – 10 м).

Сівбу гібриду кукурудзи RGT Ліпекс (ФАО 290) проведено 8 квітня 2024 р. (72 тис. шт./га) трактором John Deere 8345 R із сівалкою HORSH Maestro 24SW. Сходи були зафіксовані 16 квітня, а збирання врожаю – 7 жовтня.

Протягом вегетаційного періоду внесено: ґрунтовий гербіцид – Аценіт А (2 л/га); страхові гербіциди – Пріма (0,5 л/га) + Міладар (1,2 л/га) + Тренд 90 (0,2 л/га).

Крім того, виконано такі агротехнічні заходи:

1. Міжрядний обробіток ґрунту – трактором Case IH Magnum 260 з міжрядним культиватором Toscana КТУСАУ (ширина захвату – 6 м).

2. Дискування – трактором МТЗ-1221 із дисковою бороною АГ-2,4.

Щоб оцінити вплив поєднання КАС-32 та інгібітора нітрифікації на вміст азоту в ґрунті, трічі здійснено відбирання зразків на різних глибинах (0–20 см, 20–40 см, 40–60 см) для кожної ділянки. Повторність аналізу – триразова.

Визначення натурі зерна кукурудзи виконано згідно з вимогами ДСТУ 10840:2019 «Зерно. Метод визначення натурі» [26]. Маса 1000 зерен

визначалася відбором двох проб по 500 зерен, які зважувалися на лабораторних вагах, після чого показник розраховували відповідно до ДСТУ 4138-2002 «Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості» [27]. Облік врожаю проводили шляхом повного обмолочування зерна з кожної ділянки з подальшим коригуванням показників до 100 % чистоти та 14 % базисної вологості [28]. Показники якості зерна наведено за результатами лабораторних досліджень.

Результати та їх обговорення

У попередніх дослідженнях [29, 30] встановлено, що після внесення азотних добрив рівень азоту в ґрунті на дослідних ділянках підвищився в середньому на 28,4, 15,5 та 13,4 % у відповідних горизонтах 0–20 см, 20–40 см і 40–60 см (*рис. 1*). Серед ділянок, де застосовувався інгібітор нітрифікації, найвищий рівень азоту зафіксовано на ділянці, де вносили КАС-32 у нормі 300 кг/га. Вміст азоту тут перевищував аналогічні показники на ділянках із внесенням 250 і 150 кг/га КАС-32 на 7,9–18,0 %.

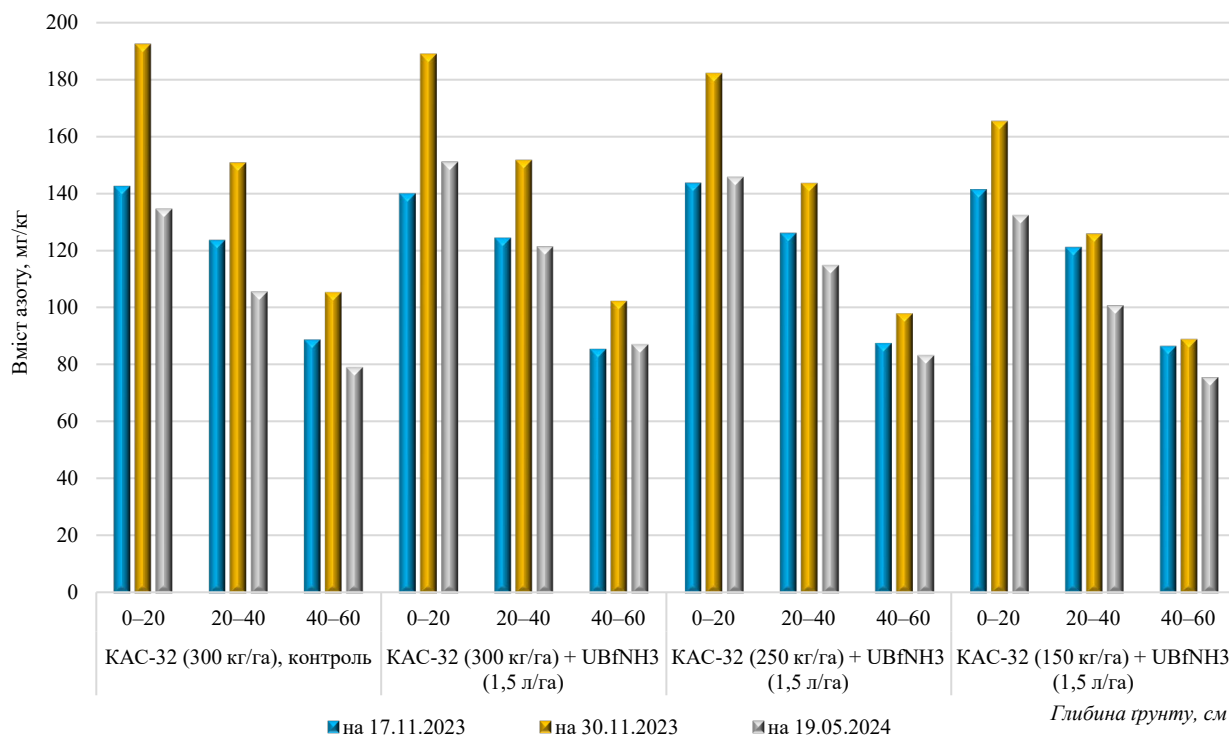


Рис. 1. Вміст азоту в різних горизонтах ґрунту залежно від схеми удобрення, 2023–2024 рр.

Аналізи ґрунту на вміст азоту, проведені 19.05.2024 р., засвідчили, що позитивне відхилення від початкових показників (станом на 17.11.2023 р.) спостерігалось лише на ділянці з внесенням 300 кг/га КАС-32 у горизонтах 0–20 см і 40–60 см, а також на ділянці з внесенням 250 кг/га КАС-32 у шарі 0–20 см (див. *рис. 1*). Це підтверджує високу ефективність удобрення КАС-32 (300 кг/га) у поєднанні з UBfNH₃ (1,5 л/га). Основна маса кореневої системи кукурудзи розміщується

на глибині 30–60 см, проте частина коренів проникає ще глибше, забезпечуючи рослину вологою з горизонту 1,5–4 м [31].

За попередніми розрахунками рівень урожайності гібриду кукурудзи RGT Ліпекс мав тісний зв'язок із рівнем вмісту азоту в ґрунті [32]. Найвищий показник урожайності (70,6 ц/га) отримано на ділянці з внесенням 300 кг/га КАС-32 та UBfNH₃, тоді як найнижчий – на контрольній ділянці (57,8 ц/га), що становить 81,9 % від максимального рівня (*табл. 1*).

Таблиця 1

Показники якості та врожайності кукурудзи за різних схем удобрення

Дослідна ділянка за схемою удобрення	Натура зерна, г/л	Маса 1000 зерен, г	Вологість, %	Смітна домішка, %	Масова частка, %			Урожайність, ц/га
					білка	жиру	крохмалю	
Контроль	792	264	13,9	2,0	8,0	5,0	65,0	57,8
КАС-32 (300 кг/га) + UBfNH ₃	816	306	13,4	1,9	11,0	7,0	70,0	70,6
КАС-32 (250 кг/га) + UBfNH ₃	805	294	13,7	2,0	9,0	6,0	68,0	63,8
КАС-32 (150 кг/га) + UBfNH ₃	796	273	13,4	2,0	9,0	5,0	67,0	62,4

Врожайність на ділянці з внесенням 250 кг/га КАС-32 та UBfNH₃ виявилась нижчою на 9,6 % порівняно з максимальним показником, що відповідає зменшенню вмісту азоту на глибині 40–60 см на 4,4 % (див. *рис. 1*). При цьому, порівняно з контрольною ділянкою врожайність за цієї схеми удобрення вища на 10,4 %, а вміст азоту в шарі 40–60 см перевищує контрольний показник на 5,3 %.

На ділянці з внесенням 150 кг/га КАС-32 та UBfNH₃ отримано врожайність на рівні 88,4 та 108,0 % від максимального та мінімального рівня відповідно. При цьому, рівень азоту у всіх горизонтах ґрунту залишався найнижчим як до внесення добрив, так і після.

Фізичні та хімічні показники продукції, яку отримують в результаті вирощування кукурудзи регулюються ДСТУ 4525:2006 «Кукурудза. Технічні умови» [33].

Згідно з отриманими результатами (див. *табл. 1*) показники якості зерна кукурудзи різнились залежно від схеми дослідження.

До важливих фізичних показників зерна у круп'яному виробництві відносяться показники натури та маси 1000 зерен. З урахуванням достатньо великих розмірів зерна кукурудзи й особливостей його морфологічної будови, для нього є характерними значення натури в межах 700–900 г/л, що є найбільшими з-поміж традиційних злакових культур [34, 35]. На масу 1000 зерен кукурудзи впливають сортові особливості та агрокліматичні умови, в зв'язку з чим вона змінюється від 150 до 600 г [4].

Натура зерна є важливим якісним параметром, що визначається його масою в певному об'ємі (насіпна щільність). Цей показник безпосередньо пов'язаний із процесом дозрівання зерна та свідчить про завершення синтезу поживних речовин. За результатами досліджень, між натурою зерна та фізико-хімічними змінами продукції в ньому зв'язку не виявлено [36].

Показники натури зерен із дослідних ділянок знаходились у межах від 792 до 816 г/л, де найменший показник отримано на контролі, а найбільший – за внесення КАС-32 в нормі 300 кг/га у поєднанні з UBfNH₃. Необхідно відмітити, що показник натури зменшується зі зниженням внесення норми КАС-32.

Відповідна динаміка характерна і для маси 1000 зерен, показник якої коливався у межах від 264 до 306 г, що нижче сортових показників у 320–340 г [37]. Виконуючи аналіз отриманих даних,

доцільно відмітити, що отримані показники маси 1000 зерен і врожайності є меншими (на 11,1 і 12,0 % відповідно), ніж сортові [38] навіть за удобрення КАС-32 (300 кг/га) у поєднанні з UBfNH₃, що може бути наслідком впливу несприятливих погодних умов (високі температури та недолік опадів).

Показник маси 1000 зерен є ключовим для оцінки продуктивного потенціалу кукурудзи, визначає якість насіннєвого матеріалу та дозволяє оптимізувати технології вирощування культури. Встановлено, що зі збільшенням розміру насіння зростає його питома маса, а також вміст поживних речовин, що сприяє отриманню вищого врожаю з покращеними якісними характеристиками [39].

Вміст вологи в зерні кукурудзи впливає на його придатність до зберігання. Надмірна вологість сприяє активізації процесів дихання зерна, створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, що може призвести до значних втрат та погіршення якості продукції. Вологість є ключовим показником, який має як технологічне, так і фізіологічне значення для насіння кукурудзи [40].

Згідно з ДСТУ 4525:2006 «Кукурудза. Технічні умови» вологість зерна кукурудзи не має перевищувати 15 %, що відповідає отриманим результатам з дослідних ділянок (див. *табл.*) і перебуває в межах 13,4–13,9 %. При цьому, найбільш вологе зерно отримано на контрольній ділянці, а найменш – за внесення удобрення КАС-32 у нормах 300 і 150 кг/га у поєднанні з UBfNH₃.

Рівень смітної домішки в зерні не має перевищувати 1 % для зерна 1 класу (продукти дитячого харчування) та 2 класу (харчові концентрати та продукти) [33]. Якщо її рівень 2 %, як у нашому випадку, зерно відноситься до 2 класу (круп, борошно).

Важливими показниками якості зерна кукурудзи є вміст білка, крохмалю та жиру, баланс між якими визначає якість і призначення зерна – від продовольчого до технічного та кормового використання. Білок визначає харчову та кормову цінність зерна, впливає на поживність кормів для тварин і якість переробленої продукції. Крохмаль є основним джерелом енергії, важливим для виробництва крохмалюпродуктів, біоетанолу та використання в харчовій промисловості. Жир підвищує енергетичну цінність зерна, що важливо для кормового використання, а також впливає на технологічні властивості при переробці [41].

Результати наших досліджень (див. *табл. 1*) свідчать, що норми внесення КАС-32 значно впли-

вають на вміст білку, крохмалю та жиру в зерні кукурудзи. Дослідженнями виявлено пряму залежність між накопиченням вмісту цих компонентів за застосування різних норм КАС-32 – чим більше норма внесення, тим більше їх вміст. Найбільший вміст білка визначено за внесення 300 кг/га КАС-32 – 11,0 %, що перевищує контроль на 3 %, та відповідає сортовим характеристикам (8,8 %) [38]. Вплив удобрення на вміст жиру в зерні був не значний – 6,0–7,0 % за внесення КАС-32 в нормі 250 і 300 кг/га відповідно, тоді як на контролі та внесенні 150 кг/га КАС-32 – 5 %.

Показники вмісту крохмалю в зерні були в межах 65,0–70,0 %, що 5,3–12,0 % менше за сортові характеристики [38]. Це пов'язано зі стресовими факторами (посуха, високі температури, дефіцит поживних речовин, що в значній мірі можна зменшити шляхом застосування гумінових препаратів) [42, 43], що сприяли зниженню синтезу крохмалю в зерні. При цьому, найбільший вміст крохмалю отримано за внесення 300 кг/га КАС-32 – 107,7 % від контролю, та зі зменшенням норми КАС-32 на 50–100 кг/га зменшувався на 1,0–2,0 %.

Наші дослідження підтверджують, що клімат є важливим чинником, який впливає на стабільне формування якісних показників зерна кукурудзи, зокрема на засвоєння рослиною елементів живлення. Окрім цього, кліматичні умови визначають ефективність реалізації інших технологічних заходів, що необхідно враховувати у сучасних методах вирощування [44].

Висновки

Результати проведених досліджень свідчать, що внесення КАС-32 у поєднанні з інгібітором нітрифікації $UBfNH_3$ значно впливає на рівень вмісту азоту в ґрунті. Максимальний рівень азоту зафіксовано при застосуванні КАС-32 у нормі 300 кг/га, що забезпечило його найбільше накопичення у всіх горизонтах ґрунту. Визначено, що врожайність гібриду кукурудзи RGT Ліпекс тісно корелює з рівнем азоту в ґрунті. Максимальний показник урожайності (70,6 ц/га) отримано при внесенні 300 кг/га КАС-32, що на 22,1 % вище, ніж на контрольній ділянці. Натура зерна та маса 1000 зерен зростають зі збільшенням норми внесення КАС-32. Найбільші значення (816 г/л і 306 г відповідно) отримано при внесенні 300 кг/га КАС-32, що свідчить про кращу якість зерна. Вологість зерна кукурудзи на всіх дослідних ділянках перебувала в межах стандартних норм (13,4–13,9 %), що забезпечує його придатність до зберігання. Виявлено, що вміст білка, жиру та крохмалю в зерні кукурудзи залежить від рівня азотного живлення. Найвищий вміст білка відзначено при внесенні 300 кг/га КАС-32 – 11,0 %, що перевищує контрольний показник на 3,0 %.

Внесення КАС-32 у нормі 300 кг/га у поєднанні з інгібітором нітрифікації $UBfNH_3$ є оптимальною

стратегією для підвищення урожайності та поліпшення якості зерна кукурудзи, що підтверджується отриманими даними аналізу ґрунту та врожайності.

Перспективи подальших досліджень полягають у визначенні впливу погодних умов на врожайність і якість зерна кукурудзи за різних схем мінерального живлення у поєднанні з інгібіторами нітрифікації.

Конфлікт інтересів

Автор стверджує про відсутність конфлікту інтересів щодо викладу та результатів досліджень.

References

1. Amnuaylojaroen, T., Chanvichit, P., Janta, R., & Surapipith, V. (2021). Projection of rice and maize productions in northern thailand under climate change scenario RCP8.5. *Agriculture*, 11, 23. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010023>
2. Neumann, K., Verburg, P. H., Stehfest, E., & Müller, C. (2010). The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems*, 103, 316–326. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.02.004>
3. Azurkin, V. O., Polishchuk, I. S., & Mazur, V. A. (2011). Produktivnist hibrydiv kukurudzy zalezno vid hustoty stoiannia dlia vyrobnytstva bioetanolu. *Zbirnyk Naukovykh Prats Vinnytskoho Natsionalnoho Ahrarnoho Universytetu. Seriya Silskohospodarski Nauky*, 8 (48), 27–35. [in Ukrainian]
4. Shapovalenko, O. I., Rybchynskyi, R. S., & Kustov, I. O. (2019). Technological characteristics of maize grain. *Scientific Works*, 83 (2), 39–43. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v2i83.1531>
5. Tkachuk, O., & Bondarenko, M. (2022). Ecological assessment of repeated corn crops in Ukraine. *Agriculture and Forestry*, 1, 182–191. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-1-13>
6. Global corn production in 2024/2025, by country. (2025). *Statista*. Retrieved from: <https://www.statista.com/statistics/254292/global-corn-production-by-country>
7. Ukraine corn area, yield and production. *USDA*. Retrieved from: <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=UP&crop=Corn>
8. Bender, R. R., Haegele, J. W., Rufo, M. L., & Below, F. E. (2013). Nutrient uptake, partitioning, and remobilization in modern, transgenic insect-protected maize hybrids. *Agronomy Journal*, 105, 161–170. <https://doi.org/10.2134/agronj2012.0352>
9. Marschner, H. (2012). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. London: Academic Press.
10. Fauziah, L., Anggraeni, L., Latifah, E., Istiqomah, N., & Khamidah, A. (2023). Increased yield and quality of corn by inorganic fertilizers and utilization of corn as food to support food security. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1253 (1), 012129. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1253/1/012129>
11. Kutsenko, O. M., Liashenko, V. V., Chaika, T. O., & Keda, L. Yu. (2023). Peculiarities of growth, development, and formation of corn hybrids' productivity depending on sowing time. *Taurian Scientific Herald*, 134, 79–88. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.12>
12. Balawejder, M., Szostek, M., Gorzelany, J., Antos, P., Witek, G., & Matlok, N. (2020). A study on the potential fertilization effects of microgranule fertilizer based on the protein and calcined bones in maize cultivation. *Sustainability*, 12 (4), 1343. <https://doi.org/10.3390/su12041343>
13. Kukurudza na zerno: vysoka efektyvnist startovykh dobyv «Elixir Zorka» v umovakh enerhetychnoi ta ekonomichnoi kryzy. (2021). *Elixir Ukraine*. Retrieved from: <https://elixir-ukraine.com/kukurudza-na-zerno-vysoka-efektyvnist-startovykh-dobryv-elixir-zorka-v-umovah-energetychnoy-ta-ekonomichnoy-kryzy/?form=MG0AV3> [in Ukrainian]
14. Drulis, P., Kriaučiūnienė, Z., & Liakas, V. (2022). The influence of different nitrogen fertilizer rates, urease inhibitors and biological preparations on maize grain yield and yield structure elements. *Agronomy*, 12 (3), 741. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030741>
15. Asibi, A. E., Chai, Q., & Coulter, J. A. (2019). Mechanisms of nitrogen use in maize. *Agronomy*, 9 (12), 775. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120775>

16. Andraski, T. W., Bundy, L. G., & Brye, K. R. (2000). Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. *Journal of Environmental Quality*, 29, 1095–1103. <https://doi.org/10.2134/jeq2000.00472425002900040009x>
17. Szulc, P., Bocianowski, J., & Rybus, M. (2012). Response of nitrogen nutritional indices of maize leaves to different mineral-organic fertilization. *Maydica*, 57, 260–265.
18. Chaika, T. O., Korotkova, I. V., & Lotysh, I. I. (2024). Osoblyvosti vyroshchuvannya kukurudzy metodamy orhanichnoho silskoho hospodarstva. *Urozhainist ta yakist produktii rosllynnytstva za suchasnykh tekhnolohii vyroshchuvannya, prysviachena pamiati profesora H. P. Zhemely: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii*. Poltava: PDAU [in Ukrainian]
19. Lam, S. K., Suter, H., Bai, M., Walker, C., Davies, R., Mosier, A. R., & Chen, D. (2018). Using urease and nitrification inhibitors to decrease ammonia and nitrous oxide emissions and improve productivity in a subtropical pasture. *Science of The Total Environment*, 644, 1531–1535. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.092>
20. Wang, H., Köbke, S., & Dittert, K. (2020). Use of urease and nitrification inhibitors to reduce gaseous nitrogen emissions from fertilizers containing ammonium nitrate and urea. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00933. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00933>
21. Korotkova, I. V., & Bidnyna, V. Yu. (2024). Vplyv azotnykh dobryv ta inhibitoriv nitryfikatsii na fazy rozvytku pry vyroshchuvanni kukurudzy na zerno. *Khimii, biotekhnolohiia, ekolohiia ta osvita: VIII Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia*. Poltava : PDAU [in Ukrainian]
22. Akiyama, H., Yan, X., & Yagi, K. (2010). Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology*, 16 (6), 1837–1846. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02031.x>
23. Ruser, R., Fuß, R., Andres, M., Hegewald, H., Kesenheimer, K., Köbke, S., Rübiger, T., Quinones, T. S., Augustin, J., Christen, O., Dittert, K., Kage, H., Lewandowski, I., Prochnow, A., Stichnothe, H., & Flessa, H. (2017). Nitrous oxide emissions from winter oilseed rape cultivation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 249, 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.039>
24. Ruser, R., & Schulz, R. (2015). The effect of nitrification inhibitors on the nitrous oxide (N₂O) release from agricultural soils – a review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 178 (2), 171–188. <https://doi.org/10.1002/jpln.201400251>
25. Liu, S.-Y., Wu, D., Ju, X.-T., Shen, J.-P., Cheng, Y., Deng, N., Song, X.-T., Di, H.-J., Li, P.-P., Han, L.-L., Ge, A.-H., Wu, C.-F., & Zhang, L.-M. (2024). Nitrification inhibitor induced microbial NH₄⁺-N immobilization improves maize nitrogen use efficiency in strong ammonia oxidation soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 202, 109687. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2024.109687>
26. DSTU 10840:2019. Zerno. Metod vyznachennia natyry. Chynnyi vid 2019-01-01. (2019). Kyiv. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=89079 [in Ukrainian]
27. DSTU 4138-2002. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti. Chynnyi vid 2004-01-01. (2003). Kyiv. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91465 [in Ukrainian]
28. Volkodav, V. V. (Ed.). (2001). *Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannya silskohospodarskykh kultur. Vypusk. 2. Zernovi, krupiani ta zernobobovi kultury*. Kyiv: Alefa [in Ukrainian]
29. Korotkova, I. V., & Bidnyna, V. Yu. (2024). Effect of nitrogen fertilizers and nitrification inhibitors on the soil nitrogen content when growing corn. *Taurian Scientific Herald*, 1 (135), 98–105. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.135.1.13>
30. Bidnyna, V. Yu. (2024). Potentsiina vrozhaunist kukurudzy zalezno vid hustoty rosllyn, riznykh norm azotnykh dobryv z vykorystanniam inhibitoriv nitryfikatsii. In T. O. Chaika (Ed.), *Zbalansovanyi rozvytok ekosystem: suchasnyi stan i perspektyvy: kolektyvna monohrafiia*. (s. 144–153). Poltava: Astraia [in Ukrainian]
31. Morfolohichni oznaky kukurudzy. (2014). *Syngenta*. Retrieved from: <https://www.syngenta.ua/en/news/kukurudza/morfolohichni-oznaki-kukurudzy> [in Ukrainian]
32. Bidnyna, V. Yu., & Korotkova, I. V. (2024). Urozhainist hibrydiv kukurudzy za riznykh norm azotnykh dobryv z vykorystanniam inhibitoriv nitryfikatsii. *Urozhainist ta yakist produktii rosllynnytstva za suchasnykh tekhnolohii vyroshchuvannya, prysviachena pamiati profesora H. P. Zhemely: Mizhnarodna naukovo-praktychna internet-konferentsiia*. Poltava : PDAU [in Ukrainian]
33. DSTU 4525:2006. Kukurudza. Tekhnichni umovy. Chynnyi vid 2007-04-01. (2007). Kyiv. Retrieved from: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=73139 [in Ukrainian]
34. Shutenko, Ye. I., & Sots, S. M. (2010). *Tekhnolohiia krupianoho vyrobnytstva: navchalnyi posibnyk*. Kyiv: Osvita Ukrainy [in Ukrainian]
35. Owens, G. (2001). *Cereals processing technology*. Elsevier.
36. Shcho take natura zerna ta yak yii vyznachyty? (2022). *Ventalab*. Retrieved from: <https://ventallab.ua/shcho-take-natura-zerna-ta-yak-yii-vyznachyty/> [in Ukrainian]
37. Nasinnia kukurudza R.A.G.T. LIPEKKS (FAO 290). Retrieved from: <https://plant-agro.prom.ua/ua/p1106140008-nasinnia-kukurudza-ragt.html> [in Ukrainian]
38. Sort RZHT LIPEKKS (kukurudza, kukurudza zvychna). *Informatsiino-analitychna systema "Ahrarii razom"*. Retrieved from: <https://agrarii-razom.com.ua/culture-variety/rjt-lipekks> [in Ukrainian]
39. Mazur, V. A., Polishchuk, I. S., Telekalo, N. V., & Mordvaniuk, M. O. (2020). *Roslynnytstvo: navchalnyi posibnyk (I chastyna)*. Vinnytsia: Vydavnytstvo TOV «Druk» [in Ukrainian]
40. Kyrpa, M. Ia., & Lukianenko, T. M. (2024). Volohist nasinnia kukurudzy – tekhnolohichne znachennia ta metody vyznachennia. *Ahrarni innovatsii*, 23, 151–155. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2024.23.23> [in Ukrainian]
41. Garcia, A., & Shultz, K. (2021). Feeding value of corn grain from different origins. *Feedstuffs*. Retrieved from: <https://dellait.com/wp-content/uploads/2022/09/70-FS-Feeding-value-of-corn-grain-from-different-origins.pdf>
42. Palamarchuk, V., Krychkovskiy, V., & Neilyk, M. (2024). Quality indicators of corn grain depending on the fractional composition and depth of wrapping. *Agriculture and Forestry*, 2 (33), 100–112. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-2-9>
43. Korotkova, I. V., & Chaika, T. O. (2022). Rol huminovykh preparativ ta yikh sumishei z mineralnymy dobryvamy v tekhnolohiiakh vyroshchuvannya pshenytsi ozymoi. In T. O. Chaika (Ed.), *Ekolohoortientovani pidkhody vidnovlennia tekhnohenko zabrudnennykh terytorii i stvorennia stalnykh ekosystem : kolektyvna monohrafiia*. (S. 279–322). Poltava : Astraia [in Ukrainian]
44. Polyakov, V. (2020). Features of quality indicators of corn grain formation depending on the complex of elements of growing technology. *Agrobiologiya*, 2 (161), 132–138. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2020-161-2-132-138>

ORCID

V. Bidnyna 

<https://orcid.org/0009-0006-9089-2592>



2025 Bidnyna V. 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.