

**original article** | UDC 631.528.6, 575.224.46 | doi: 10.31210/visnyk2021.01.01**WINTER WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* L.) MUTAGENIC DEPRESSION UNDER GAMMA-RAYS ACTION***M. M. Nazarenko*ORCID [0000-0002-6604-0123](https://orcid.org/0000-0002-6604-0123)Dnipro State Agrarian and Economics University, 25, S. Efremova str., Dnipro, 49600, Ukraine
E-mail: nik_nazarenko@ukr.net

How to Cite

*Nazarenko, M. M. (2020). Winter wheat (*Triticum aestivum* L.) mutagenic depression under gamma-rays action. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, (1), 13–20. doi: 10.31210/visnyk2021.01.01*

The purpose of our investigation was to identify the peculiarities of depressive consequences of the after-effect of different gamma-rays doses on locally bred winter wheat varieties as to the indicators of germination, survival, morphometry, and yield. The parameters of germination and survival, the cause of the main ontogenesis phases in winter wheat plants of local varieties (Komertsiina and Spivanka) in the first generation were studied. The influence of mutagenic depression on yield structure indices (morphometry of mature plants) was established and the level of their variability was estimated too. In 2019–2020, the experiments were conducted in the experimental fields of the research center of Dnipro State Agrarian and Economic University. The seeds of Spivanka and Komertciina varieties, irradiated with gamma rays in doses of 100, 150, 200, 250, 300 Gy were used in the experiments. Dry seeds were the control. It was found that the highest depression concerning all the studied characteristics were manifested in Spivanka variety, except for the dose of 250 Gy, which indicated the specificity of the interaction of gamma-rays depressive activity with the genotypes of certain varieties and the complex nature of depressive effects development at the plant organism level. The most informative parameters of mutagenic depression in M_1 plant generation of soft winter wheat varieties were: germination and survival rate of plants, pollen fertility and such yield structure parameters as plant height, grain weight from the main spike, and thousand-kernel weight. All of these parameters having a high level of significance are connected with the mutagen dose rate. The genotypes of locally bred varieties (Komertciina and Spivanka) turned out to be highly sensitive to gamma-rays action, which was manifested in the semi-lethality at even initial, moderate doses (100 Gy). Variance analysis showed that mutagen dose factor first of all affected the formation of yield structure indicators, then the genotype of the original variety. It has been found that there may be a rapid decrease in separate parameters in the first generation at reaching certain dose limits. Moreover, these doses are determined by the genotype of the subject of mutagenic action.

Key words: winter wheat, gamma-rays, depression, mutagenesis.**МУТАГЕННА ДЕПРЕСІЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ПРИ ДІЇ ГАММА-ПРОМЕНІВ***M. M. Назаренко*

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

Метою наших досліджень було виявити особливості депресивних наслідків післядії різних доз гамма-променів у сортів пшениці озимої місцевої селекції за показниками схожості, виживання, морфометрії, врожайності. Досліджено показники схожості та виживання, проходження основних

фаз онтогенезу в рослин пшениці озимої сортів місцевої селекції (Комерційна та Співанка) у першому поколінні. Встановлено вплив мутагенної депресії на показники структури врожайності (морфометрію стиглих рослин) та встановити рівень їх мінливості. 2019–2020 рр. експерименти проводили на дослідних полях науково-дослідного центру Дніпровського державного аграрно-економічного університету. У дослідях використовували насіння сортів Співанка та Комерційна, опромінене гамма-променями в дозах 100, 150, 200, 250, 300 Гр. Контроль – сухе насіння. Встановлено, що вища депресія за всіма дослідженими ознаками проявилась у сорту Співанка, крім дози 250 Гр, що свідчить про специфічність взаємодії депресійної активності гамма-променів із генотипами окремих сортів та складний характер розвитку депресивних наслідків на рівні організму. Найбільш інформативними показниками щодо мутагенної депресії в M_1 поколінні рослин сортів пшениці озимої м'якої були: схожість та виживання рослин, фертильність пилку та такі показники структури врожайності, як висота рослин, вага зерна з головного колосу, маса тисячі зерен. Усі ці показники з високим рівнем значущості пов'язані з показником доза мутагену. Генотипи сортів місцевої селекції (Комерційна та Співанка) виявилися високочутливими до дії гамма-променів, що проявилось у напівлетальності навіть початкових, помірних доз (100 Гр). Дисперсійний аналіз показав, що насамперед на формування показників структури врожайності впливав фактор «доза мутагену», потім генотип вихідного сорту. Виявлено, що може відбуватися стрімке зниження окремих параметрів у першому поколінні при досягненні окремих граничних доз, причому ці дози визначаються генотипом суб'єкта мутагенної дії.

Ключові слова: озима пшениця, гамма-промені, депресія, мутагенез.

Вступ

Вплив фізичних мутагенів на ріст та розвиток рослинних організмів зазвичай не є позитивним та виражається в порушенні нормальних процесів онтогенезу, сповільненні проходження фаз розвитку, більш пізньому їх настанні порівняно з контролем (іноді до десяти днів за окремими фазами), зниженні схожості, виживання рослин, фертильності, прояву різних морфозів. Навіть невелика одноразова дія мутагенами на насіння суттєво корегує життєздатність та продуктивність рослини [4, 16, 19].

Назву мутагенної депресії отримало явище різкого зниження життєздатності в першому поколінні. Існує значна кількість параметрів, за котрими можна моніторити її ступінь, але найбільш широко вживаними є схожість та виживання (останнє особливо важливе для озимих культур), стерильність – фертильність пилкових зерен, морфометрія 10-денних проростків, показники структури врожайності, загальна біологічна та господарська продуктивність рослинних організмів. Ці показники частково дублюються, а окремі параметри залежно від об'єкта мутагенної активності та особливостей онтогенезу, мінливості ознаки не є надійними для повноцінної оцінки [5, 17, 20].

Рівень мутагенної депресії повністю залежить, по-перше, від суб'єкта мутагенної дії та його фізіологічного стану. При використанні як суб'єкта сухого насіння мутагенна депресія найнижча, для замоченого, проростків, пилку – висока. На це треба зважати, обираючи дозу мутагену. По-друге, від природи мутагену – гамма-промені, як і більшість фізичних мутагенів, за своїми властивостями належить до мутагенів із високими ступенем депресії [9, 15].

Мутагенна активність у першому поколінні проявляється переважно у зниженні життєздатності, фертильності, різних морфологічних та фізіологічних пошкодженнях. Досить часто фізіологічні пошкодження є причиною депресії організму і фактично визначають обмеження доз мутагенів на практиці. Вплив дози мутагенного чинника визначається за життєздатністю рослин у першому поколінні в польових умовах [8, 14].

При дії на насіння пшениці мутагенні чинники впливають насамперед на ті параметри, котрі починають формуватися в момент дії. Особливо це позначається на параметрах схожості та виживання, онтогенезу, показниках структури врожайності рослин першого покоління. Залежно від чинника мутагени здатні проявляти депресивну або стимулюючу дію на процеси онтогенезу рослин першого покоління. Переважно мутагенні чинники виявляють депресивний вплив на ці показники, особливо при високих дозах [7]. Дослідження першого покоління генотипів є актуальними, оскільки саме депресія в першому поколінні визначає кількість отриманого матеріалу для вивчення мутаційної мінливості в подальшому, ідентифікує природу мутагенного чинника, пов'язана з частотою та спектром мутацій у подальших поколіннях та дає можливість добору домінантних мутацій [3, 10].

Проблема усунення мутагенної депресії при збереженні мутабільності організму на відповідному

рівні є досить актуальною [2], до того ж вважають окремі дослідники, що відсутня пряма залежність між депресією організмів у першому поколінні та мутаційною активністю в подальших поколіннях [6, 21]. Є два напрями досліджень: пошук нових мутагенів (лазер, опромінення іонами азоту вуглецю, використання умов космічного простору), що викликають той самий рівень мінливості при суттєво нижчому рівні депресії [11], або використання стабілізуючих речовин, що понижають активність мутагенів [12, 13, 21]. Проте наслідком використання таких речовин досить часто є небажане зниження частоти.

Метою наших досліджень було виявити особливості депресивних наслідків післядії різних доз гамма-променів у сортів пшениці озимої місцевої селекції за показниками схожості, виживання, морфометрії, врожайності.

Ставили такі *завдання* – дослідити показники схожості та виживання, проходження основних фаз онтогенезу в рослин пшениці озимої сортів місцевої селекції (Комерційна та Співанка) у першому поколінні. Встановити вплив мутагенної депресії на показники структури врожайності (морфометрію стиглих рослин) та встановити рівень їх мінливості. Провести аналіз впливу мутагенної активності на генотипи сортів місцевої селекції та визначити їх перспективність з точки зору рівня майбутньої мутаційної мінливості.

Матеріали і методи досліджень

2019–2020 рр. досліди проводили на дослідних полях науково-дослідного центру Дніпровського державного аграрно-економічного університету. У дослідях використовували насіння сортів Співанка та Комерційна, опромінені гамма-променями в дозах 100, 150, 200, 250, 300 Гр. Контроль – сухе насіння. Дози гамма-променів повністю перекривають загальнозживаний діапазон для відповідних досліджень зі штучного мутаційного процесу в агроценозах зернових культур [19, 20].

Опромінення сухого насіння здійснювали на гамма-установці центра з ядерних досліджень та тренувань відділу експериментального мутагенезу ФАО-МАГАТЕ (Австрія, Фрайбург) гамма-променями радіоактивного ізотопу Со60, потужність установки 0,048 Гр/с.

Перше покоління M_1 сортів, що отримали мутагенну дію, висіяли вручну на 10-рядкових ділянках 1,5 м довжиною, в кожному варіанті 1000 зерен на ділянку. Контролем було насіння сортів, висіяне через кожні 10 рядків.

Протягом періоду вегетації 2019–2020 років були проведені обліки з виживання рослин і облік змінених рослин, також у M_1 вивчали вплив мутагенів на висоту рослин та елементи структури урожаю (дібрано 50 рослин на структурний аналіз [1]). У варіантах з високими дозами та концентраціями мутагенів добирали матеріал за наявністю. У M_1 здійснювали облік польової схожості та виживання рослин. Польову схожість визначали через три тижні після посіву, коли виключалась імовірність появи додаткових сходів із насіння із сильним гальмуванням проростання, методом суцільного підрахунку рослин у варіанті. Виживання рослин у M_1 визначали у відсотках кількості зібраних рослин від кількості рослин, що були посіяні. Такими, що вижили, вважали рослини, що дали хоча б один колос.

Стерильність пилку визначали фарбуванням ацетокарміном та спостереженням його інтенсивності у світловий мікроскоп. Усього проглядали не менше 25 препаратів.

Статистичну обробку отриманих результатів проводили за методом дисперсійного аналізу, достовірність різниці середніх оцінювали за критерієм Стьюдента. Використовували стандартний пакет програми Statistic 6.0 [14].

Результати досліджень та їх обговорення

Параметри росту та розвитку рослин у M_1 наведені в таблиці 1. Норма висіву в усіх варіантів була однаковою (1000 шт.). При дії гамма-променів також спостерігалися затримки в розвитку рослин: у сортів Комерційна та Співанка фаза колосіння настала на 4–5 днів пізніше, повна стиглість – на 5 днів при дозах 100–150 Гр. При дозі 200 Гр – на 7 днів. Фаза повної стиглості відповідно майже на тиждень та декаду. Багато рослин було недорозвинених, з численними морфозами, особливо при дозі 200 Гр. У контролі вихідний матеріал не розрізнявся за схожістю. При дії окремих доз знаходимо, що у випадку місцевих сортів Комерційна та Співанка їх обох можна віднести до високосенситивних до дії гамма-променів генотипів. Так, уже дія доволі помірної дози 100 Гр була напівлетальною за виживанням. Доза 250 Гр виявилась в обох випадках сублетальною.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

1. Схожість та виживання M_1 рослин, $M \pm t$

Варіант	Схожість, шт.	Схожість, %	При відновленні вегетації, шт.	При відновленні вегетації, %
Комерційна, контроль	950±12	95±1,2	948±14	94,8±1,4
Комерційна, 100 Гр	567±15*	56,7±1,5	511±16*	51,1±1,6
Комерційна, 150 Гр	422±19*	42,2±1,9	398±17*	39,8±1,7
Комерційна, 200 Гр	261±22*	26,1±2,2	214±19*	21,4±1,9
Комерційна, 250 Гр	51±24*	9,1±2,4	15±11*	1,9±1,1
Комерційна, 300 Гр	0	0	0	0
Співанка, контроль	952±15	95,2±1,5	949±16	94,9±1,6
Співанка, 100 Гр	498±16*	49,8±1,6	447±16*	44,7±1,6
Співанка, 150 Гр	401±17*	40,1±1,7	359±16*	35,9±1,6
Співанка, 200 Гр	221±17*	23,1±1,7	157±17*	19,7±1,7
Співанка, 250 Гр	98±19*	9,8±1,9	63±3*	6,3±0,3
Співанка, 300 Гр	0	0	0	0

*Примітки:** – різниця статистично достовірна при $t_{0,05}$.

При визначенні генотип-мутагенної взаємодії знаходимо, що сорт Комерційна був менш чутливим до дії гамма-променів у діапазоні 100–200 Гр, але при дії 250 Гр картина різко змінилася та кращим себе показав сорт Співанка. Для всіх сортів летальною виявилась доза 300 Гр – при нульовій схожості. Щодо виживання, то для обох генотипів спостерігалася значна віддалена загибель унаслідок зимових умов, що була статистично достовірною.

Отже, можна запропонувати таку класифікацію доз для генотипів місцевої селекції дози 100–200 Гр – напівлетальні, доза 250 Гр – сублетальні та доза 300 Гр – летальна. Це досить чітко відрізняється від загальноновживаної класифікації, де дози 100–150 Гр є помірними, 200–250 Гр високими та 300 Гр – високими та сублетальними.

Крім показників схожості та виживання ключовою ознакою розвитку рослин є проходження відповідних фаз (про що ітиметься далі) та здатність дати плодючих нащадків. З цього приводу оптимальним є контроль за життєздатністю пилкових зерен, що проводиться доволі простим методом прокращування пилкових зерен та обліком наявності та кількості фертильних зерен при мікроскопуванні зразків.

У показника «фертильність пилку» (наведений у табл. 2) кореляція між дозою гамма-променів та спадом фертильності на рівні – 0,90, тобто при підвищенні дози фертильність лінійно падала.

У цьому разі фертильність поступово знижувалася при зростанні доз гамма-променів дози 200 Гр, після котрої відбулося стрімке падіння – тобто з огляду на цей тип моніторингу критичним є використання діапазону за 200 Гр, використання доз менших та рівних 200 Гр призводить до помірної втрати плодючості.

2. Рівень фертильності у M_1 рослин

Варіант	Комерційна	Співанка
Контроль	99,1	98,0
Гамма-промені, 100 Гр	84,8*	81,7*
Гамма-промені, 150 Гр	76,2*	71,5*
Гамма-промені, 200 Гр	65,3*	59,8*
Гамма-промені, 250 Гр	0*	8,7*

*Примітки:** – різниця статистично достовірна при $P_{0,05}$.

У контролі всі сорти продемонстрували високий рівень фертильності, при дозі 100 Гр фертильність суттєво знизилась, але поступово. Дія дози 150 Гр знов призвела до істотного зростання стерильності, що вже становила лише 70–75 % від норми, доза 200 Гр призвела до формування фертильності на рівні 60–65 % від загальної кількості пилкових зерен. В усіх випадках сорт Співанка демонстрував стійкість до гамма-променів ніж сорт Комерційна, як у випадку схожості та виживання.

При дії 250 Гр у Комерційної матеріал не досяг необхідної фази 9 та його вижило обмаль у сорту Співанка наявність фертильних зерен була незначною. Тобто рослини були майже стерильні, але все

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИНИЦТВО

ж таки вдалося отримати деяку кількість посівного матеріалу. Втім, його схожість була майже нульовою (2020 року).

Однією з вагомих проблем, що істотно знижують кількість матеріалу для добору на ранніх ланках процесу генетичного поліпшення в експериментальному мутагенезі, є негативний вплив гамма-променів особливо у високих дозах на окремі ключові елементи структури врожайності.

Структура врожайності досліджена за 9 стандартними показниками, наведеними в таблиці 3. Показники «загальна кущистість», «продуктивна кущистість», «довжина головного колосу», «кількість колосків з колосу», як правило, не знижувались із статистичною достовірністю при зміні дози. Звичайно, мутагенна депресія вплинула й на них, та значення будь-якого з цих показників при дії критичної або напівлетальної дози значно відрізнялося від контролю. При цьому потрібно орієнтуватися на ознаки, які змінюються з кожною зміною дози, проте за цими ознаками дози 100 та 150 Гр, 150 та 200 Гр не здатні відрізнитися одна від одної.

3. Основні показники структури врожайності M_1 сортів

Варіант	Висота, см	Загальна кущистість	Продуктивна кущистість	Довжина головного колосу, см	Кількість колосків, шт.	Зерна з головного колосу, шт.	Вага зерна з головного колосу, гр.	Вага зерна з рослини, гр.	МТЗ, гр.
Комерційна, контроль	92,7	3,9	3,2	8,4	18,2	38,0	1,38	4,2	40,1
Комерційна, 100 Гр	85,5*	3,6	3,0	8,1	17,9	34,0	1,20*	3,7	36,1*
Комерційна, 150 Гр	80,1*	3,7	3,0	8,0	17,1	26,0*	1,99*	3,0*	32,3*
Комерційна, 200 Гр	74,7*	3,0	2,2*	7,0*	11,3*	13,0*	0,89*	2,0*	22,4*
Співанка, контроль	89,1	4,3	3,7	7,8	17,8	35,0	1,22	3,6	38,4
Співанка, 100 Гр	83,1*	3,7	3,5	7,7	17,7	29,0	1,08*	3,0	34,1*
Співанка, 150 Гр	75,0*	3,4	3,3	7,4	17,8	22,0*	0,91*	2,2*	30,1*
Співанка, 200 Гр	70,3*	2,5*	2,1*	7,0	16,5	12,0*	0,43*	1,0*	19,9*
Співанка, 250 Гр	41,2*	1,0*	1,0*	4,1*	6,0*	4,0*	0,1*	0,3*	4,2*

Примітки: * – різниця статистично достовірна при $P_{0,05}$.

Ознака «висота рослин» при дії дози 100 Гр знижувалась статистично значуще порівняно з контролем у обох сортів. Те ж саме відбувалося при дії доз 150–250 Гр. Дані по варіанту Комерційна 250 Гр відсутні через фактичну відсутність відповідного матеріалу. Ознака загальна кущистість набагато менш варіативна та змінюється при зростанні дози лише в сорту Співанка та лише при дії 200–250 Гр. При дії гамма-променів на ознаку продуктивна кущистість спостерігається фактично та ж сама картина, не зважаючи на мінливість в одного варіанту Комерційної при дії 200 Гр. Щодо ознаки довжина колоса, то вона варіативна лише при дії 200 Гр у Комерційної та 250 Гр у Співанки. Та ж сама картина спостерігається в показника кількість колосків з головного колосу.

Така морфометрична ознака як кількість зерна з головного колосу варіює при всіх дозах крім 100 Гр зі статистичною достовірністю та є досить чутливим показником мутагенної депресії. Вага зерна з головного колосу варіює при всіх без виключення дозах та повністю відповідає за мінливістю всім параметрам для надійного моніторингу депресійного впливу гамма-променів та ідентифікації факту мутагенної дії. Тобто на одному рівні з показником висота рослини. Вага зерна з рослини дещо поступається попередньому показникові та відображає мутагенну депресію фактично так само, як і показник кількість зерна з головного колосу. МТЗ (маса тисячі зерен) достовірно змінюється при дії будь-якої дози мутагену в обох сортах та є надійним параметром мутагенної активності на рівні показників висота рослини та вага зерна з головного колосу.

Отже, надійно відтворюють картину мутагенної депресії такі показники як висота рослин, вага зерна з головного колосу та МТЗ, частково (крім дози 100 Гр) кількість зерен з головного колосу та вага зерна з рослини.

СІЛЬСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО. РОСЛИННИЦТВО

За інформативністю з варіювання щодо поступової зміни ознаки при зростанні дози мутагену можна виділити за дискримінантним аналізом (табл. 4) такі показники, як висота рослини, вага зерна з головного колосу, маса тисячі зерен. Менш інформативні показники: кількість зерна з головного колосу, вага зерна з рослини.

4. Результати дискримінантного аналізу за даними структури врожайності

Змінні в моделі	Коефіцієнт Уїлкса λ	F-remove (4,02)	p-level
Висота, см	0,53	9,71	0,00
Загальна кущистість	0,02	0,70	0,63
Продуктивна кущистість	0,03	0,82	0,24
Довжина головного колосу, см	0,02	0,49	0,35
Кількість колосків, шт.	0,03	0,61	0,24
Зерна з головного колосу, шт.	0,18	3,36	0,02
Вага зерна з головного колосу, г	0,28	5,26	0,01
Вага зерна з рослини, г	0,18	3,55	0,02
МТЗ, г	0,48	8,97	0,01

За результатами двофакторного дисперсійного аналізу (табл. 5) доведено, що спостерігався вплив фактора «доза мутагену» на ознаки структури M_1 сортів – висота рослин, кількість зерен з головного колосу, вага зерна з колосу, вага зерен з рослини, маса тисячі зерен. Він був основним у диференціації за ступенем мутагенної депресії. За результатами аналізу за фактором «генотип сорту» він вплинув на такі показники: висота рослин, вага зерна з колосу, вага зерен з рослини, маса тисячі зерен.

5. Результати дисперсійного аналізу

Джерело варіації	SS	df	MS	F	P	F критичне
Доза мутагену	1102,01	4	259,14	38,07	0,01	5,15
Генотип	457,38	2	54,17	9,92	0,02	3,26
Похибка	150,60	8	5,92			
Всього	1709,99	6				

Отже, на депресію сорту доза мутагену впливає більше, ніж генотип сорту, показник «висота рослини» чітко демонструє мутагенну депресію. Як показники мутагенної дії варто використовувати висоту рослин, масу зерна з рослини, масу тисячі зерен.

На місцевому матеріалі підтверджено властиву для сортів української селекції низьку стійкість до мутагенної дії, що раніше також відмічалась у проведених дослідженнях [13, 14]. Джерел низької чутливості для дії гамма-променів у діапазоні високих доз 250–300 Гр, що є регулярними для зарубіжних досліджень не знайдено, а вочевидь це обумовлено генотиповими особливостями вихідного матеріалу [12]. Загальні тенденції щодо ключових ознак у моніторингу депресивного впливу залишаються ті ж самі, з деякою варіативністю щодо менш мінливих параметрів структури врожайності, що не є критичним для цього типу досліджень [13].

Оптимальний, з огляду на отримання вибірки матеріалу, що отримав мутагену дію, діапазон доз також здатен суттєво зміщатися в меншу сторону – так, уже доза 100 Гр для генотипу може виявитися напівлетальною, що раніше не спостерігалось [2, 19, 20]. Уже дозу 150 Гр для сортів місцевої селекції не можна вважати оптимальною з огляду на депресивні наслідки. Можливо ефективним є застосування для місцевих сортів діапазону доз у 20–70 Гр [21], що не є тривіальним з огляду на традиційний підхід у мутаційному генетичному поліпшенні [19, 20]. Знов підтверджено відсутність стимулюючого ефекту [4] в діапазоні застосованих доз, спостерігалась лише мутагенна депресія.

Висновки

Вища депресія за всіма дослідженими ознаками проявилась у сорту Співанка, крім дози 250 Гр, що свідчить про специфічність взаємодії депресійної активності гамма-променів з генотипами окремих сортів та складний характер розвитку депресивних наслідків на рівні організму. Найбільш інформативними показниками щодо мутагенної депресії у M_1 поколінні рослин сортів пшениці озимої м'якої були: схожість та виживання рослин, фертильність пилку та такі показники структури врожай-

ності, як висота рослин, вага зерна з головного колосу, маса тисячі зерен. Генотипи сортів місцевої селекції (Комерційна та Співанка) виявилися високочутливими до дії гамма-променів, що проявилось у напівлетальності навіть початкових, помірних за класифікацією МАГАТЕ доз (100 Гр). Це свідчить про їх кардинальні особливості при використанні як суб'єктів для мутаційної мінливості в майбутньому та можливий високий рівень мутаційної мінливості в наступних поколіннях, тобто ці генотипи є перспективними для експериментального мутагенезу.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому планується дослідження частоти змін у другому поколінні та перевірка їх успадкування у третьому поколінні, визначення перспективних форм.

References

1. Amram, A., Fadida-Myers, A., Golan, G., Nashef, K., Ben-David, R., & Peleg, Z. (2015). Effect of GA-sensitivity on wheat early vigor and yield components under deep sowing. *Frontier Plant Science*, 6 (487). doi: 10.3389/fpls.2015.00487
2. Asif, J. (2020). Effect of different pre-treatments on seed germination of *Prosopis juliflora* and *Dalbergia sissoo*: a step towards mutation breeding. *Journal of Forest Science*, 66, 80–88. doi: 10.17221/64/2019-JFS
3. Çelik, Ö., Ekşioglu, A., & Akdaş, E. Y. (2018). Transcript profiling of salt tolerant tobacco mutants generated via mutation breeding. *Gene Expression Patterns*, 29, 59–64. doi: 10.1016/j.gep.2018.05.001
4. Chen, S., Gao, R., Wang, H., Wen, M., Xiao, J., Bian, N., Zhang, R., Hu, W., Cheng, S., Bie, T., & Wang, X. (2015). Characterization of a novel reduced height gene (*Rht23*) regulating panicle morphology and plant architecture in bread wheat. *Euphytica*, 203, 583–594. doi: 10.1007/s10681-014-1275-1
5. Essam, F., Badrya, M., & Aya, M. (2019). Modeling and forecasting of wheat production in Egypt. *Advances and Applications in Statistics*, 59 (1), 89–101. doi: 10.17654/AS059010089
6. Fellahi, Z., Hannachi, A., Oulmi, A., & Bouzerzour, H. (2018). Analyse des aptitudes générale et spécifique à la combinaison chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.). *Revue Agriculture*, 9 (1), 60–70.
7. Gasperini, D., Greenland, A., Hedden, P., Dreos, R., Harwood, W., & Griffiths, S. (2012). Genetic and physiological analysis of *Rht8* in bread wheat: an alternative source of semi-dwarfism with a reduced sensitivity to brassinosteroids. *Journal of Experimental Botany*, 63, 4419–4436. doi: 10.1093/jxb/ers138
8. Hallajian, M. T. (2016). Mutation breeding and drought stress tolerance in plants. *Drought Stress Tolerance in Plants*, 2, 359–383. doi: 10.1007/978-3-319-32423-4_13
9. Hiroyasu, Y. (2018). Mutation breeding of ornamental plants using ion beams. *Breeding Science*, 68 (1), 71–78. doi: 10.1270/jsbbs.17086
10. Hongjie, L., Timothy, D. M., Mc Intosh, R. A., & Yang, Z. (2019). Breeding new cultivars for sustainable wheat production. *The Crop Journal*, 7 (6), 715–717. doi: 10.1016/j.cj.2019.11.001
11. Kolakar, S. S., Nadukeri, S., Jakkeral, S. A., Hanumanthappa, M., & Gangaprasad, S. (2018). Role of mutation breeding in improvement of medicinal and aromatic crops: Review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, SP3, 425–429. doi: 10.4171/2267-0412.100e108
12. Li, H. J., Timothy, D. M., Mc Intosh, R. A., & Zhou, Y. (2019). Wheat breeding in northern China: achievements and technical advances. *The Crop Journal*, 7 (6), 718–729. doi: 10.1016/j.cj.2019.09.003
13. Nazarenko, M. (2015). Negativnyie posledstviya mutagennogo vozdeystviya. *Ecological Genetics*, 13 (4), 25–26. doi: 10.17816/ecogen13425-26 [In Russian].
14. Nazarenko, M., Lykholat, Y., Grigoryuk, I., & Khromykh, N. (2018). Optimal doses and concentrations of mutagens for winter wheat breeding purposes. Part I. Grain productivity. *Journal of Central European Agriculture*, 19 (1), 194–205. doi: 10.5513/JCEA01/19.1.2037
15. Nazarenko, M., Beiko, V., & Bondarenko, M. (2019). Induced mutations of winter wheat caused by gamma-rays fixed on plant height and stem structure. *Agriculture and Forestry*, 65 (3), 75–83. doi: 10.17707/AgricultForest.65.3.06
16. Naveed, A., Nazir, A., Abdu, H., Raza, S., & Muhammad, A. (2015). Mutation breeding: a tool to improve wheat yield and yield components. *Life Science*, 9 (1), 3274–3279
17. Saif-u-Malook, S. A., Qaisarani, M. K., Shabaz, H., Ahmed, M., Nawaz, M., & Qurban, A. (2015). Mutation breeding approach to breed drought tolerant maize hybrids. *International Journal of Biosciences*, 6 (2), 427–436. doi: 10.12692/ijb/6.2.427-436
18. Shah, F., Adnan, M., & Basir, A. (2018). *Global Wheat Production*. London: Intechopen. doi: 10.5772/intechopen.72559

19. Shu, Q. Y., Forster, B. P., & Nakagava, H. (2013). *Plant mutation breeding and biotechnology*. Vienna: CABI publishing. doi: 10.1079/9781780640853.0000
20. Spencer-Lopes, M. M., Forster, B. P., & Jankuloski, L. (2018). *Manual on mutation breeding. Third edition*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
21. Xicun, D., Xia, Y., & Wenjian, L. (2016). Plant Mutation Breeding with Heavy Ion Irradiation at IMP. *Journal of Agricultural Science*, 8 (5), 34–41. doi: 10.5539/jas.v8n5p34

Стаття надійшла до редакції 03.01.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Назаренко М. М. Мутагенна депресія пшениці озимої (*Triticum aestivum* L.) у разі дії гамма-променів. *Вісник ПДАА*. 2021. № 1. С. 13–20.

© Назаренко Микола Миколайович, 2021