

УДК 633.11:631.95:575.21

**Горшар В. І.**

кандидат сільськогосподарських наук,  
доцент кафедри рослинництва,  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Дніпро, Україна  
**E-mail:** gorschar\_vlad@ukr.net  
**ORCID:** 0000-0001-9175-9749

**Назаренко М. М.**

доктор сільськогосподарських наук,  
завідувач кафедри селекції і насінництва,  
Дніпровський державний аграрно-економічний університет  
Дніпро, Україна  
**E-mail:** nik\_nazarenko@ukr.net  
**ORCID:** 0000-0002-6604-0123

## ОСОБЛИВОСТІ ІНДУКЦІЇ МУТАЦІЙ ЗА ДІЇ НІТРОЗОМЕТИЛСЕЧОВИНИ У ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

### *Анотація*

Нітрозоалкілсечовини як мутагенний чинник відносяться до групи речовини, що здатні викликати високі частоти мутацій за структурою рослин, що призведе до виникнення численної кількості інтенсивних форм. Метою було встановити характеристики індукції частоти та спектру спадкових змін, показати ключові моменти мутаційної мінливості за окремими ознаками та в залежності від сорту. Насіння 8 сортів пшениці озимої Балатон, Боровиця, Зелений Гай, Золото України, Каланча, Нива Одеська, Полянка, Почайна обробляли розчином хімічного мутагену нітрозометилсечовина (НМС) у концентраціях 0,0125, 0,025%. У поколіннях М2–М3 мутантні сімейства були відібрані шляхом візуальної оцінки, аналізу проходження фенофаз, структурним аналізом та аналізом за зерновою продуктивністю. Було вивчено 11 950 сімей у другому-третьому поколінні. Використовували звичайні концентрації, що характерні для селекційної практики. При цьому навіть вища концентрація НМС 0,025% призвела до значного зниження життєздатності лише у випадку одного сорту Зелений Гай. Зі статистичною достовірністю на загальну частоту мутацій вплинули показники підвищення концентрації та генотипу, при попарному порівнянні суттєво відрізнялися сорти Полянка та Почайна, Нива Одеська, в усіх випадках варіанти відрізняються один від одного та від контролю. На рівень мінливості вплинув як показник підвищення концентрації, так і показник генотипу, при попарному порівнянні відділилися сорти Каланча, Полянка та Почайна. В спектрі було отримано всього 37 змінні ознаки по 6 групах мінливості, можна достовірно передбачити для даного мутагену на даному матеріалі високу кількість (в порівнянні) мутантів зі змінами по висоті стебла, форм з довгим веретеновидним колосом. Доволі висока ймовірність класифікації генотипу у факторному просторі. Висока ймовірність отримання цінних форм з довгим озерним колосом, продуктивних та куцистих, ранньостиглих, стійких до захворювань мутантів. Разом з тим висока ймовірність отримання форм зі скверхедним, спельтоїдним колосом, високим стеблом, що є негативними ознаками. Низька ймовірність виникнення стерильних форм. Використаний вихідний матеріал є доволі перспективним саме в поєднанні з помірними концентраціями НМС, тому можна вважати, що оптимальна композиція у випадку даних сортів це використання для високої індукції цінних форм НМС у концентрації 0,025% з переважною більшістю зазначених генотипів.

**Ключові слова:** пшениця озима, нітрозометилсечовина, мутації, частота, спектр.

**Вступ.** Нітрозоалкілсечовини як мутагенний чинник відносяться до групи так званих супермутагенів, тобто речовин, що здатні спричинити суттєву кількість мутацій без суттєвого зниження життєздатності рослин, котра настає при дії співставних за ефектами доз фізичних мутагенів. Крім того, дані речовини через спорідненість до окремих ділянок ДНК за своїм алкілюючим ефектом здатні викликати високі частоти певних мутацій [1; 3].

Вивчення особливостей мутагенної активності окремих чинників дозволяє суттєво підвищити їх ефективність у індукції окремих типів господарсько-цінних мутацій. Так, вважається доведеним, що в оптимізованій системі природа чинника – його концентрація чи доза – генотип ефективність може зростати на 60-80%, особливо це важливо для хімічного мутагенезу [6; 7]. Специфікою дії хімічних мутагенів є їх висока сайт-специфічність [4; 5]. Генотипи при дії деякими чинниками демонструють більш високу активність за ключовими параметрами [8; 9]. Одним з способів встановлення генетичної пластичності є розширена оцінка асортименту зародкової плазми [10].

**Мета роботи** – встановити характеристики індукції частоти та спектру спадкових змін у сортів пшениці озимої, показати ключові моменти мутаційної мінливості за окремими ознаками та в залежності від вихідного сорту.

**Методика дослідження.** Застосували мутаген нітрозометисечовину (далі тут та по тексту – НМС), що відноситься до класу алкілюючих агентів. Насіння 8 сортів пшениці озимої Балатон, Боровиця, Зелений Гай, Золото України, Каланча, Нива Одеська, Полянка, Почайна обробляли розчином хімічного мутагену НМС у концентраціях 0,0125, 0,025%. Для кожної обробки були використані 1000 зерен. Експозиція дії становила 18 годин. Для контролю використовували необроблені вихідні форми, замочені у воді.

У поколіннях М2–М3 мутантні сімейства були відібрані шляхом візуальної оцінки, аналізу проходження фенотипу, структурним аналізом та аналізом за зерновою продуктивністю. Посів проводили вручну, в кінці вересня, на глибину 4-5 см і з нормою 100 життєздатних насінин в рядок (довжина 1,5 м), міжряддя 15 см, між рядками 30 см, 2 рядки, контроль з необробленим насінням вихідної форми через кожні 20 варіантів.

Досліди проводили на дослідному полі Дніпровського державного аграрно-економічного університету (с. Олександрівка, Дніпровський район, Дніпропетровська область, Україна). Математичну обробку результатів проводили факторним аналізом за допомогою модуля ANOVA, дискримінантним аналізом (Statistica 10.0).

**Результати дослідження.** Згідно з таблицею 1 було досліджено для виявлення спадкових змін 11 950 сімей у другому-третьому поколінні. Використовували концентрації, що характерні для селекційної практики.

**Таблиця 1. Частота мутацій при дії НМС ( $x \pm SD$ ,  $n = 450-500$ )**

Варіант	Загальна кількість сімей	Кількість мутантних сімей	Частота, %
Балатон, кт.	500	2	0,40 ± 0,10 <sup>a</sup>
Балатон, НМС 0,0125%	500	30	6,00 ± 0,32 <sup>b</sup>
Балатон, НМС 0,025%	500	47	9,40 ± 0,41 <sup>c</sup>
Боровиця, кт.	500	4	0,80 ± 0,08 <sup>a</sup>
Боровиця, НМС 0,0125%	500	26	5,20 ± 0,29 <sup>b</sup>
Боровиця, НМС 0,025%	500	41	8,20 ± 0,37 <sup>c</sup>
Зелений Гай, кт.	500	3	0,60 ± 0,06 <sup>a</sup>
Зелений Гай, НМС 0,0125%	500	30	6,00 ± 0,33 <sup>b</sup>
Зелений Гай, НМС 0,025%	450	44	9,80 ± 0,42 <sup>c</sup>
Золото України, кт.	500	6	1,20 ± 0,24 <sup>a</sup>
Золото України, НМС 0,0125%	500	22	4,40 ± 0,32 <sup>b</sup>
Золото України, НМС 0,025%	500	43	8,60 ± 0,40 <sup>c</sup>
Каланча, кт.	500	5	1,00 ± 0,20 <sup>a</sup>
Каланча, НМС 0,0125%	500	27	5,40 ± 0,29 <sup>b</sup>
Каланча, НМС 0,025%	500	40	8,00 ± 0,37 <sup>c</sup>
Нива Одеська, кт.	500	3	0,60 ± 0,18 <sup>a</sup>
Нива Одеська, НМС 0,0125%	500	32	6,40 ± 0,32 <sup>b</sup>
Нива Одеська, НМС 0,025%	500	54	10,80 ± 0,51 <sup>c</sup>
Полянка, кт.	500	2	0,40 ± 0,12 <sup>a</sup>
Полянка, НМС 0,0125%	500	21	4,20 ± 0,21 <sup>b</sup>
Полянка, НМС 0,025%	500	32	6,40 ± 0,35 <sup>c</sup>
Почайна, кт.	500	2	0,40 ± 0,14 <sup>a</sup>
Почайна, НМС 0,0125%	500	22	4,40 ± 0,28 <sup>b</sup>
Почайна, НМС 0,025%	500	35	7,00 ± 0,45 <sup>c</sup>

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при  $P_{0,05}$ .

Хоча НМС відноситься до речовин з доволі високою ушкоджувальною здатністю, його дія призвела до зниження стандартної вибірки для добору лише в одному випадку для сорту Зелений Гай, НМС 0,025%. Зі статистичною достовірністю на загальну частоту мутацій вплинув показник підвищення концентрації ( $F=205,78$ ;  $F_{0,05}=3,73$ ;  $P=4,17 \cdot 10^{-11}$ ), у той час як показник генотипу був менш суттєвим, але значимим ( $F=2,82$ ;  $F_{0,05}=2,76$ ;  $P=0,05$ ), але при аналізі знаходимо, що при попарному порівнянні суттєво відрізнялися сорти Полянка та Почайна ( $F = 12,14$ ;  $F_{0,05} = 5,17$ ;  $P = 0,002$ ) по зниженій мутаційній активності та сорт Нива Одеська за підвищенням частоти мутацій ( $F = 6,16$ ;  $F_{0,05} = 6,00$ ;  $P = 0,05$ ).

Що стосується цього параметру взагалі, то він варіював у наступних межах від 4,2% (сорт Полянка) до 6,4% (сорт Нива Одеська) при дії НМС 0,0125% та від 6,4% (знов сорт Полянка) до 10,8% (знов сорт Нива Одеська) для НМС 0,025%.

В усіх випадках варіанти відрізняються один від одного та від контролю. Була зроблена методом кластерного аналізу класифікація генотипів (Рис. 1), що підтвердила поділ всіх сортів на три групи – в першій групі три сорти Балатон, Зелений Гай, Нива Одеська, що мали більш високу загальну мінливість по цьому показнику; в другій групі – Боровиця, Каланча, Золото України. В третій групі сорти Полянка та Почайна, що продемонстрували найменшу активність в індукції мутацій при дії НМС.

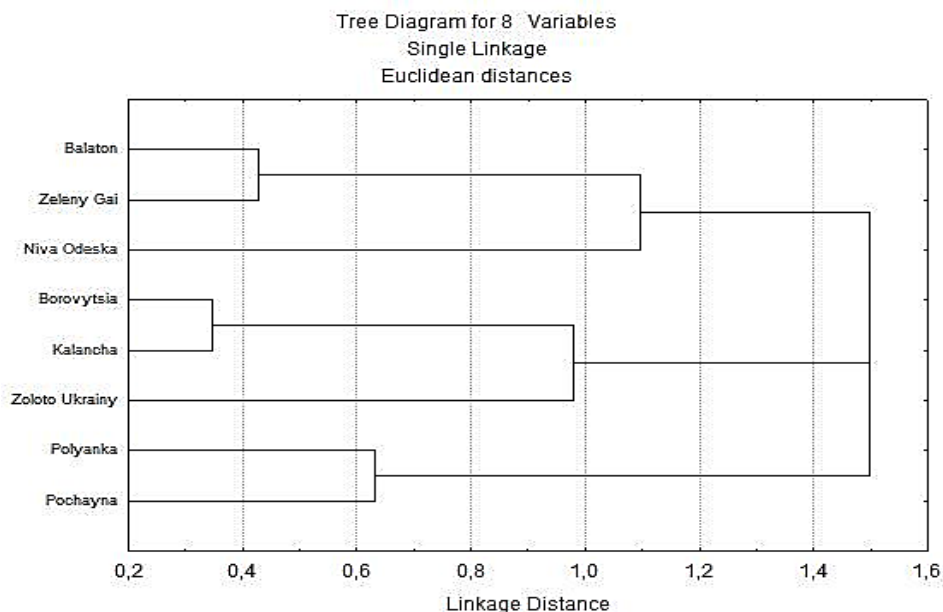


Рис. 1. Результати кластерного аналізу по показнику частоти мутацій.

Інтегративним показником, що ураховує також і спектр змінених ознак є рівень мінливості, котрий обраховується як відношення кількості змінених сімей до загальної кількості ознак, по котрих пройшли зміни (Таблиця 2).

Таблиця 2. Рівень мінливості за дії НМС ( $\bar{x} \pm SD$ ,  $n = 450-500$ )

Варіант	Рівень мінливості	Кількість змінених ознак
Балатон, кт.	0,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	2
Балатон, НМС 0,0125%	1,20 ± 0,18 <sup>b</sup>	20
Балатон, НМС 0,025%	2,54 ± 0,29 <sup>c</sup>	27
Боровиця, кт.	0,03 ± 0,01 <sup>a</sup>	4
Боровиця, НМС 0,0125%	0,88 ± 0,16 <sup>b</sup>	17
Боровиця, НМС 0,025%	2,05 ± 0,25 <sup>c</sup>	25
Зелений Гай, кт.	0,02 ± 0,02 <sup>a</sup>	3
Зелений Гай, НМС 0,0125%	1,20 ± 0,16 <sup>b</sup>	20
Зелений Гай, НМС 0,025%	2,44 ± 0,25 <sup>c</sup>	25
Золото України, кт.	0,07 ± 0,01 <sup>a</sup>	6
Золото України, НМС 0,0125%	0,66 ± 0,10 <sup>b</sup>	15
Золото України, НМС 0,025%	2,06 ± 0,24 <sup>c</sup>	24
Каланча, кт.	0,05 ± 0,01 <sup>a</sup>	5
Каланча, НМС 0,0125%	0,76 ± 0,19 <sup>b</sup>	19
Каланча, НМС 0,025%	1,03 ± 0,21 <sup>b</sup>	22
Нива Одеська, кт.	0,02 ± 0,01 <sup>a</sup>	3
Нива Одеська, НМС 0,0125%	1,22 ± 0,21 <sup>b</sup>	19
Нива Одеська, НМС 0,025%	3,02 ± 0,29 <sup>c</sup>	28
Полянка, кт.	0,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	2
Полянка, НМС 0,0125%	0,55 ± 0,15 <sup>b</sup>	13
Полянка, НМС 0,025%	1,41 ± 0,22 <sup>c</sup>	22
Почайна, кт.	0,01 ± 0,01 <sup>a</sup>	2
Почайна, НМС 0,0125%	0,75 ± 0,15 <sup>b</sup>	17
Почайна, НМС 0,025%	1,47 ± 0,29 <sup>c</sup>	21

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при  $P_{0,05}$ .

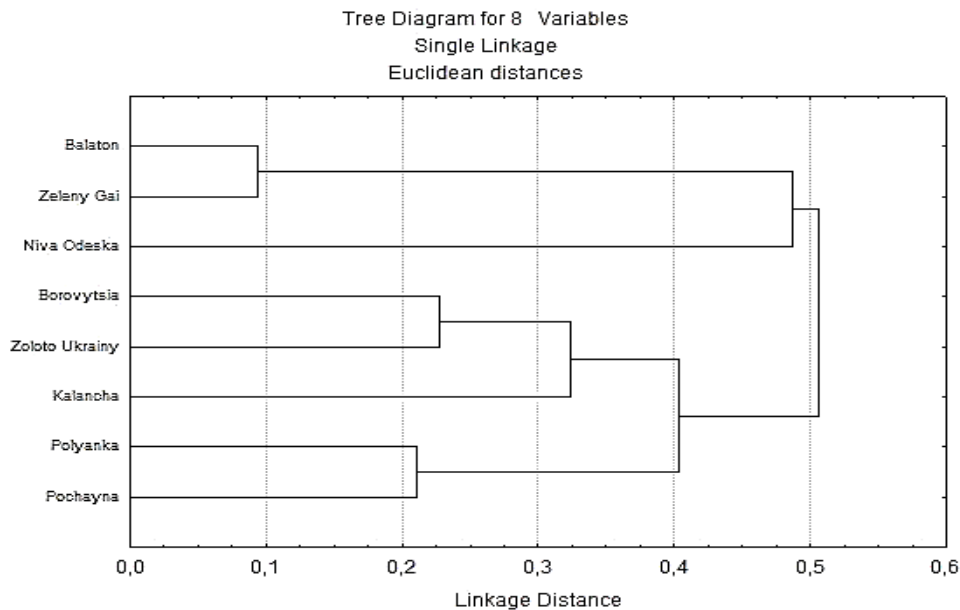
У цьому випадку зі статистичною достовірністю на рівень мінливості вплинув як показник підвищення концентрації ( $F=98,44$ ;  $F_{0,05}=3,73$ ;  $P=5,68 \cdot 10^{-7}$ ), так і показник генотипу ( $F=21,13$ ;  $F_{0,05}=2,76$ ;  $P=0,001$ ), при попарному порівнянні відділилися сорти відрізнялися сорти Полянка та Почайна ( $F = 18,11$ ;  $F_{0,05} = 5,17$ ;  $P = 0,0001$ ) по зниженій варіації та сорт Нива Одеська за підвищенням мінливості ( $F = 14,98$ ;  $F_{0,05} = 6,00$ ;  $P = 0,0007$ ).

Що стосується цього параметру взагалі, то він варіював у наступних межах від 0,55 (сорт Полянка) до 1,22 (сорт Нива Одеська) при дії НМС 0,0125% та від 1,03 (сорт Каланча) до 3,02 (сорт Нива Одеська) при дії НМС

**Продовження таблиці 2**

0,025%. Таким чином, за рахунок спектру вже інші сорти більш варіативні. В усіх випадках варіанти відрізняються один від одного та від контролю, крім сорту Каланча між першою та другою концентрацією через незначні зміни за кількістю ознак, по котрих були отримані зміни.

За результатами кластерного аналізу (Рис. 2) виділили вже чотири групи генотипів, одна мінорні та три загальні. В першій великій групі однотипні сорти Балатон, Зелений Гай (висока мінливість); в другій найбільш мінливий сорт Нива Одеська; в третій групі Боровиця, Золото України, Каланча (займають середнє положення, крім сорту Каланча при дії другої концентрації); четверта група сорти Почайна, Полянка (менш мінливі при всіх концентраціях).



**Рис. 2. Результати кластерного аналізу по показнику рівня мінливості**

В спектрі було отримано всього 37 змінених ознак по 6 групах мінливості, котрі були проаналізовані за дискримінантним та факторним аналізом для виявлення значимості окремих груп (Таблиці 3, 4).

Перша група мутації за структурою стебла. Це такі ознаки як товсте стебло, тонке стебло, високостеблові, низькостеблові, напівкарлик, карлик, слаба воскова поволока, відсутність воскової поволоки. Найвища частота високостеблових форм (до 1,0%, в середньому 0,55%) також значима ймовірність отримання форм зі слабкою восковою поволокою та її відсутністю, низькостеблових, напівкарликових форм, інші ознаки слабо-варіативні. Друга група складається з ознак структури зерна. Виникнення мутацій за всіма цими ознаками мало ймовірно. Третя група включає зміни за структурою колосу. Це такі ознаки як остистий, безостий, довгий, рихлий, циліндричний, веретеноподібний, щільний, крупний, дрібний, напівостистий, ригідний, булавоподібний, загострений, подвійний колос та антоціанові ості. Більшість мутацій низької ймовірності, але виділилися форми з напівостистим колосом (до 0,6%, в середньому 0,23%) та форми з довгим, напівостистим колосами (до 0,6%, в середньому 0,17 та 0,22% відповідно). Більш варіативна четверта група (зміни за фізіологією росту та розвитку). Включає ознаки стерильність, ранньостиглість, пізньостиглість, стійкість до захворювань. Виникнення останніх трьох ознак доволі часте, індукція стерильності навпаки, низька (таблиця 3) (висока ймовірність отримання ранньостиглих та стійких до захворювання форм). П'ята група складається з системних мутацій, що характерні для високих доз та концентрацій мутагену. Включає такі ознаки як скверхедний колос, спельтоїдний колос, субкомпактоїд, компактоїд, сферококоїд. Доволі значна кількість спельтоїдів (до 0,67%), значне виникнення скверхедних колосів (до 0,89%, з суттєвим внеском окремих генотипів). Шоста група складається з господарчо-цінних форм з високої кущистістю та продуктивністю. Вони високої ймовірності для дії НМС (до 1% для продуктивних форм при середній 0,24%).

Для мутаційного процесу в процесі дискримінантного аналізу встановлено модельність окремих параметрів за групами (Таблиця 3, 4). Суттєвими вона була за частотою, рівнем мінливості, мутацій в першій, четвертій, п'ятій, шостій групі.

Таким чином, можна достовірно передбачити для даного мутагену на даному матеріалі високу кількість мутантів з комплексними змінами. Доволі висока ймовірність класифікації генотипу у факторному просторі.

**Таблиця 3. Модельні параметри мутагенної активності**

Параметр в моделі	Wilks Lambda $\lambda$	Часткова Lambda	F-критичне (4,02)	p-рівень
Загальна частота	0,09	0,82	27,14	0,01
Рівень мінливості	0,09	0,84	30,19	0,01
Перша група	0,11	0,79	15,82	0,01
Друга група	0,55	0,32	1,97	0,12
Третя група	0,34	0,49	2,98	0,09
Четверта група	0,09	0,83	28,02	0,01
П'ята група	0,14	0,78	12,78	0,01
Шоста група	0,19	0,67	7,52	0,02

**Таблиця 4. Факторне навантаження параметрів**

Параметр	Генотип	Концентрація
Загальна частота	<b>0,711479</b>	<b>0,959177</b>
Рівень мінливості	<b>0,813990</b>	<b>0,891779</b>
Перша група	<b>0,710921</b>	<b>0,836801</b>
Друга група	0,301303	0,342009
Третя група	<b>0,696000</b>	0,478143
Четверта група	<b>0,714083</b>	<b>0,816162</b>
П'ята група	<b>0,830911</b>	<b>0,823209</b>
Шоста група	<b>0,710011</b>	<b>0,721440</b>
Пояснена компонента	2,485990	3,167999
Загальна компонента	0,433439	0,359175

Примітка: статистично значимі виділені жирним.

**Висновки.** НМС як агент мутаційної активності індукує доволі високу кількість різних типів мутацій, причому спрямовано на отримання як малих, більш практично-цінних змін, так і негативних за структурою колосу. Висока ймовірність отримання цінних форм з довгим озерним колосом, продуктивних та кущистих, ранньостиглих, стійких до захворювань, низькостеблових мутантів. Разом з тим, дуже висока ймовірність отримання форм зі спельтоїдним, скверхедним колосом, високим стеблом, що є негативними ознаками. Позитивним є низьке виникнення стерильних форм. Використаний вихідний матеріал є доволі перспективним саме в поєднанні з помірними концентраціями НМС, тому можна вважати, що оптимальна композиція у випадку даних сортів це використання для високої індукції цінних форм НМС у концентрації 0,025.

#### Список використаних джерел

1. Abaza G., Awaad A., Attia M., Abdellateif S., Goma A., Abaza S., Mansour E. Inducing potential mutants in bread wheat using different doses of certain physical and chemical mutagens. *Plant Breeding and Biotechnology*. 2020. 8(3). P. 252–264.
2. Anter A. Induced Mutations in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Improved Grain Yield by Modifying Spike Length. *Asian Journal of Plant Sciences*. 2021. 20. P. 313–323.
3. Chaudhary J., Deshmukh R., Sonah H. Mutagenesis Approaches and Their Role in Crop Improvement. *Plants*. 2019. 8. 467 p.
4. Mangi N., Baloch A. W., Khaskheli N. K., Ali M., Afzal W. Multivariate Analysis for Evaluation of Mutant Bread Wheat Lines Using Metric Traits. *Integrative Plant Sciences*. 2021. 1(1). P. 29–34.
5. Nazarenko M., Izhboldin O., Izhboldina O. Study of variability of winter wheat varieties and lines in terms of winter hardness and drought resistance. *AgroLife Scientific Journal*. 2022. 11(2). P. 116–123.
6. Nazarenko M. Identification and characterization of mutants induced by gamma radiation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*. 2016. LIX. P. 350–353.
7. Shabani M., Alemzadeh A., Nakhoda B., Razi H., Houshmandpanah Z., Hildebrand D. Optimized gamma radiation produces physiological and morphological changes that improve seed yield in wheat. *Physiology Molecular Biology Plants*. 2022. 28(8). P. 1571–1586.
8. Spencer-Lopes M.M., Forster B.P., Jankuloski L. Manual on mutation breeding. Third edition. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 2018. P. 672.
9. Udage A. Introduction to plant mutation breeding: different approaches and mutagenic agents. *Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka*. 2021. 16. 466.
10. Yali W., Mitiku T. Mutation Breeding and Its Importance in Modern Plant Breeding. *Journal of Plant Sciences*. 2022. 10(2). P. 64–70.

**Horshchar V. I.**

Candidate of Agricultural Sciences,  
Associate Professor of the Department of Plant production,  
Dnipro State Agrarian and Economics University  
Dnipro, Ukraine

**E-mail:** gorschar\_vlad@ukr.net

**ORCID:** 0000-0001-9175-9749

**Nazarenko M. M.**

Doctor of Agricultural Sciences,  
Head of the Department of Breeding and Seedfarming,  
Dnipro State Agrarian and Economics University  
Dnipro, Ukraine

**E-mail:** nik\_nazarenko@ukr.net

**ORCID:** 0000-0002-6604-0123

## PECULARITIES OF MUTATION INDUCTION UNDER NITROSOMETHYLUREA ACTION FOR WINTER WHEAT

**Abstract**

Nitrosoalkylureas as a mutagenic factor belong to the group of substances capable of causing high frequencies of mutations in the structure of plants, which will lead to the emergence of a large number of intensive forms. Purpose. The aim was to reveal the features of induction of the frequency and spectrum of mutational changes in winter wheat in the second-third generation, to show the key points of mutational variability by individual characters and depending on the genotype. Seeds of 8 varieties of winter wheat Balaton, Borovytsia, Zeleny Gai, Zoloto Ukrainy, Kalancha, Niva Odeska, Polyanka, Pochayna were treated with a solution of the chemical mutagen nitrosomethurea (NMU) in concentrations of 0,0125, 0,025%. In the  $M_2$ – $M_3$  generations, mutant families were selected by visual assessment, analysis, structural analysis by phenophases and grain yield analysis. 11,950 families in the second-third generation were studied. Usual concentrations typical for breeding practice were used. At the same time, even a higher concentration of NMU of 0,025% led to a significant decrease in viability only in the case of one variety Zeleny Gai. With statistical reliability, the overall frequency of mutations was influenced by the indicators of increased concentration and genotype, in a pairwise comparison, the varieties Polyanka and Pochayna, Niva Odeska differed significantly, in all cases the variants differ from each other and from the control. The level of variability was influenced by both the increase in concentration and the genotype indicator, and when paired, varieties Kalancha, Polyanka, and Pochayna were separated. In the spectrum, a total of 37 changed traits in 6 groups of variability were obtained, it is possible to reliably predict for this mutagen on this material a high number (in comparison) of mutants with changes in the height of the stem, forms with a long spindle-shaped ear. The probability of genotype classification in the factor space is quite high. There is a high probability of obtaining valuable forms with a long spike, productive and bushy, earliness, disease-resistant mutants. At the same time, there is a high probability of obtaining forms with a squareheaded, speltoid spike, a tall stem, which are negative signs. Low probability of sterile forms. The used starting material is quite promising especially in combination with moderate concentrations of NMU, so it can be considered that the optimal composition in the case of these varieties is the use for high induction of valuable forms of NMU at a concentration of 0,025% with the vast majority of the indicated genotypes.

**Key words:** winter wheat, nitrosomethylureas, mutations, rate, spectra.

**References**

1. Abaza G., Awaad A., Attia M., Abdellateif S., Gomaa A., Abaza S., & Mansour E. (2020). Inducing potential mutants in bread wheat using different doses of certain physical and chemical mutagens. *Plant Breeding and Biotechnology*, 8(3). 252–264.
2. Anter A. (2021). Induced Mutations in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Improved Grain Yield by Modifying Spike Length. *Asian Journal of Plant Sciences*, 20. 313–323
3. Chaudhary J., Deshmukh R., & Sonah H. (2019). Mutagenesis Approaches and Their Role in Crop Improvement. *Plants*, 8. 467. doi: 10.3390/plants8110467
4. Mangi N., Baloch A. W., Khaskheli N. K., Ali M., & Afzal W. (2021). Multivariate Analysis for Evaluation of Mutant Bread Wheat Lines Using Metric Traits. *Integrative Plant Sciences*, 1(1). 29–34.
5. Nazarenko M., Izhboldin O., & Izhboldina O. (2022). Study of variability of winter wheat varieties and lines in terms of winter hardness and drought resistance. *AgroLife Scientific Journal*, 11(2). 116–123.
6. Nazarenko M. (2016). Identification and characterization of mutants induced by gamma radiation in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LIX. 350–353.
7. Shabani M., Alemzadeh A., Nakhoda B., Razi H., Houshmandpanah Z., & Hildebrand D. (2022). Optimized gamma radiation produces physiological and morphological changes that improve seed yield in wheat. *Physiology Molecular Biology Plants*, 28(8). 1571–1586.
8. 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. 672.
9. Udage A. Introduction to plant mutation breeding: different approaches and mutagenic agents. *Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka*, 2021. 16. 466.
10. Yali W., & Mitiku T. (2022). Mutation Breeding and Its Importance in Modern Plant Breeding. *Journal of Plant Sciences*, 10(2). 64–70.