

18. Ушкаренко В. О., Вожегова Р. А., Голобородько С. П., Коковіхін С. В. Статистичний аналіз результатів польових дослідів у землеробстві. Херсон: Айлант, 2013. 381 с.

19. Грабовський М. Б., Німенко С. С. Особливості формування висоти рослин сої за органічної технології вирощування. *Таврійський науковий вісник*. 2023. № 129. С. 54–62.

20. Вожегова Р. А., Боровик В. О., Марченко Т. Ю., Рубцов Д. К. Вплив густоти рослин і доз добрив на фотосинтетичну діяльність і урожайність сої середньостиглого сорту Святогор в умовах зрошення. *Вісник аграрної науки*. 2020. Т. 20, Вип. 4. С. 62–68.

УДК 633.11:631.95:575.21

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.131.7>

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ ДІЇ НІТРОЗОЕТИЛСЕЧОВИНИ У ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ

Горцар В.І. – к.с.-г.н.,

доцент кафедри рослинництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Назаренко М.М. – д.с.-г.н.,

професор кафедри селекції і насінництва,

Дніпровський державний аграрно-економічний університет

Використання хромосомних аберацій для моніторингу мутагенних ушкоджень на рівні хромосомного апарату клітини має досить довгу історію як у плані дослідження цитогенетичної активності окремих препаратів, так і для моніторингу впливу різних антропогенних чинників, передусім пов'язаних з різними типами хімічних і радіаційних забруднень. Насіння 8 сортів пшениці озимої Балатон, Боровиця, Зелений Гай, Золото України, Каланча, Нива Одеська, Полянка, Почайна обробляли розчином хімічного мутагену нітрозоетилсечовини (НЕС) у концентраціях 0,01 та 0,025%. Методом світлової мікроскопії проводили аналіз хромосомних аберацій на препаратах мітозів верхівок первинних коренів сортів озимої пшениці на пізній стадії метафази та ранній анафазі. В цілому цитогенетична активність даного мутагену була доволі високою. Досліджували такі показники як загальна частота, фрагменти (одинарні та подвійні), мости (також одинарні – хроматидні – та подвійні – хромосомні), більш рідкісні аберації як мікроядра, відстаючі хромосоми. Особливо враховувалися клітини з множинними хромосомними абераціями (комплексними). Значимо підвищення концентрації вплинуло на всі показники, різниця по генотипу дії була значущою лише для кількості інших аберацій. Кількість клітин з двома і більше абераціями зазвичай є вкрай надійним і достовірним параметром, який відображає підвищення концентрації (доз) мутагену. За модельними ознаками для генотипів відрізняються лише присутності рідкісних типів аберацій (мікроядер, що відстають хромосом). Очевидно, саме ця частина спектра і зумовила зміни за загальною частотою цитогенетичних порушень, які вплинули на відмінності двох сортів від інших за характером мінливості на клітинному рівні. Сайт-специфічні можливості мутагену проявляються саме таким чином, а не через індукцію фрагментів і мостів, які мають більш загальний характер. При цьому в цілому не варто очікувати особливо високих параметрів мінливості на рівні організму, також мутаген у своїх концентраціях, що застосовуються, не досягає значних летальних величин для даних генотипів. Дослідження цитогенетичних

параметрів активності навіть порівняно непогано вивчених мутагенних факторів має сенс в аспекті їх взаємодії, менш ушкоджуючі речовини деколи показують досить значні ефекти з точки зору як індукції загальної частоти перебудов, так і їх співвідношень у спектрі.

Ключові слова: пшениця озима, нітрозоетилсечовина, цитогенетика, хромосомні аберації.

Horshchar V.I., Nazarenko M.M. Cytogenetic effects of nitrosoethylurea action for winter wheat

The use of chromosomal aberrations to monitor mutagenic damage at the level of the chromosomal apparatus of the cell has a long history, both in terms of studying the cytogenetic activity of individual substances and for monitoring the impact of various anthropogenic factors, primarily related to various types of chemical and radiation pollution. Seeds of 8 winter wheat varieties Balaton, Borovytsia, Zeleny Gai, Zoloto Ukrainy, Kalancha, Niva Odeska, Polyanka, Pochayna were treated with a solution of the chemical mutagen nitrosoethylurea (NES) in concentrations of 0.01 and 0.025%. Analysis of chromosomal aberrations was performed using light microscopy on preparations of mitoses of the tips of primary roots of winter wheat varieties at the late stage of metaphase and early anaphase. In general, the cytogenetic activity of this mutagen was quite high. We studied such indicators as the total rate, fragments (single and double), bridges (also single – chromatid – and double – chromosomal), rarer aberrations such as micronuclei, lagging chromosomes. Cells with multiple chromosomal aberrations (complex) were taken into account separately. A significant increase in concentration affected all indicators, the difference by genotype was significant only for the number of other aberrations. The number of cells with two or more aberrations is usually an extremely reliable and reliable parameter that reflects an increase in the concentration (dose) of the mutagen. Only the presence of rare types of aberrations (micronuclei lagging behind chromosomes) differ according to the model features for the genotypes. Obviously, it was this part of the spectrum that led to changes in the general frequency of cytogenetic disorders, which affected the differences of the two varieties from others in the nature of variability at the cellular level. The site-specific capabilities of the mutagen are manifested in this way, and not through the induction of fragments and bridges, which are more general in nature. At the same time, in general, one should not expect particularly high parameters of variability at the level of the organism, and the mutagen in its applied concentrations did not reach significant lethal values for these genotypes. The study of the cytogenetic parameters of the activity of even relatively well-studied mutagenic factors makes sense in terms of their interaction, less damaging substances sometimes show quite significant effects from the point of view of both the induction of the overall frequency of rearrangements and their ratios in the spectrum.

Key words: winter wheat, nitrosoethylurea, cytogenetics, chromosomal aberrations.

Постановка проблеми. Використання хромосомних аберацій для моніторингу мутагенних ушкоджень на рівні хромосомного апарату клітини має досить довгу історію як у плані дослідження цитогенетичної активності окремих препаратів, так і для моніторингу впливу різних антропогенних чинників, передусім пов'язані з різними типами хімічних і радіаційних забруднень [2, 9]. Методологічно, розробка протоколу застосування певного чинника для індукції мутацій не може проходити без тесту його цитогенетичної активності для визначення загального рівня мінливості при впливі, встановлення порогових значень з точки зору летальних порушень у функціонуванні спадкового апарату [1, 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При первинному дослідженні характеру впливу хімічного мутагенного чинника мають значення такі показники як загальна частота хромосомних перебудов, співвідношення окремих типів аберацій, наявність рідкісних типів змін [4, 5]. Також за динамікою частоти перебудов можна судити по пороговому значенню даного чинника з точки зору практичного застосування для генетичного поліпшення даного сорту/гібриду [6, 8].

Хоча безпосередньо неможливо ув'язати певні типи перебудов із змінами у господарсько-цінних ознак, проте, правильний підбір (який починається з тестів цитогенетичної активності) генотипу в залежності від механізмів

генетично-обумовленої толерантності до мутагенного впливу, відмінностями в геномі (що призводить до змін ступеня спорідненості до хімічного супермутагену та різної активності окремих ділянок, виникнення нових асоціацій генів) призводить до активізації корисних змін [7, 9].

Постановка завдання. Насіння 8 сортів пшениці озимої Балатон, Боровиця, Зелений Гай, Золото України, Каланча, Нива Одеська, Полянка, Почайна обробляли розчином хімічного мутагену нітрозоетилсечовини (НЕС) у концентраціях 0,01 та 0,025%. Для кожної обробки були використані 1000 зерен пшениці озимої. Експозиція дії мутагену становила 18 годин.

Методом світлової мікроскопії проводили аналіз хромосомних аберацій на препаратах мітозів верхівок первинних коренів сортів озимої пшениці на пізній стадії метафази та ранній анафази. Після обробки НЕС частини верхівок коренів культивували в чашках Петрі на фільтрувальному папері з дистильованою водою в термостаті за температури + 20–22°C. Після цього частину зразків довжиною 0,8–1,0 см зрізали та фіксували протягом 24 годин у розчині Кларка, який складається з 3 частин 96% етилового спирту та 1 частини очної кислоти. Для кожного варіанту готували близько 25–30 коренів. Цитологічні дослідження забезпечували тимчасовими препаратами, забарвленими ацетокарміном. Зразки оцінювали за допомогою світлового мікроскопа Micromed XS-3330 (множення в 600 разів) з камерою 5М. У кожному варіанті міститься приблизно 1000 рослинних клітин на відповідних стадіях. Статистичний аналіз дат проводився програмою Statistica 10.0. Відмінності між відборами визначали за допомогою однофакторного аналізу (ANOVA) і вважали надійними при $P < 0,05$. Відмінності між зразками оцінювали за допомогою тесту Тьюкі HSD.

Виклад основного матеріалу дослідження. Загальна частота хромосомних аберацій (таблиця 1) показала, що в цілому фактор генотипу не вплинув значною загальною вибіркою ($F = 2,44$; $F_{0,05} = 2,76$; $P = 0,07$), тоді як послідовне збільшення концентрації підвищило загальний рівень перебудов ($F = 363,82$; $F_{0,05} = 3,73$; $P = 8,54 * 10^{-13}$). Однак окремі генотипи все ж значимо виділилися при попарному порівнянні. Це стосується сорту Зелений Гай ($F = 6,32$; $F_{0,05} = 2,48$; $P = 0,01$) та сорту Боровиця ($F = 2,56$; $F_{0,05} = 2,48$; $P = 0,05$), які виявилися відповідно менші та більш стійкими ніж інші. Частота хромосомних аберацій варіювала від 5,58% (сорт Зелений Гай) до 7,94% (сорт Боровиця) при дії НЕС 0,01%, за дії НЕС 0,025% від 7,28% (сорт Зелений Гай) до 10,35% (сорт Боровиця). Таким чином, в цілому цитогенетична активність даного мутагену була доволі високою.

Щодо спектру перебудов хромосомного апарату клітини (таблиці 2 та 3) досліджували такі показники як фрагменти (одинарні та подвійні, які в цілому більш характерні для дії хімічних супермутагенів), мости (також одинарні – хроматидні – та подвійні – хромосомні), а також інші, більш рідкісних аберацій таких як мікроядра, відстаючі хромосоми. Окремо враховувалися клітини з множинними хромосомними абераціями (комплексними), які є досить потужним інтегративним показником впливу мутагену.

Для сумарної частоти фрагментів і подвійних фрагментів суттєвої різниці за фактором генотип не виявлено ($F = 2,12$; $F_{0,05} = 2,76$; $P = 0,08$), за фактором концентрації різниця достовірна ($F = 117,13$; $F_{0,05} = 3,73$; $P = 3,19 * 10^{-7}$). Однак попарне порівняння показало, що хоча перша концентрація значуще діяла в порівнянні з контролем, при переході між окремими концентраціями різниця була достовірна

не завжди (сорти Золото України, Каланча). Загалом, кількість фрагментів варіювала від 26 (сорт Зелений Гай) до 49 (сорт Полянка) при дії НЕС 0,01%, при концентрації НЕС 0,025% від 34 (сорт Зелений Гай) до 57 (сорт Полянка).

Таблиця 1
Частота хромосомних аберацій при дії НЕС ($\bar{x} \pm SD$, $n = 25$)

Сорт	Варіант	Мітозів, шт.	Хромосомних аберацій	
			шт.	%
Балатон	вода	1002	10	1,00 ± 0,12 ^a
Балатон	НЕС 0,01%	1001	67	6,69 ± 0,21 ^b
Балатон	НЕС 0,025%	1000	101	10,10 ± 0,34 ^c
Зелений Гай	вода	1005	9	0,89 ± 0,32 ^a
Зелений Гай	НЕС 0,01%	1004	56	5,58 ± 0,24 ^b
Зелений Гай	НЕС 0,025%	1003	73	7,28 ± 0,29 ^c
Золото України	вода	1001	8	0,80 ± 0,21 ^a
Золото України	НЕС 0,01%	1004	75	7,47 ± 0,21 ^b
Золото України	НЕС 0,025%	1008	93	9,23 ± 0,30 ^c
Нива Одеська	вода	1009	8	0,79 ± 0,23 ^a
Нива Одеська	НЕС 0,01%	1001	62	6,19 ± 0,21 ^b
Нива Одеська	НЕС 0,025%	1005	79	7,86 ± 0,27 ^c
Боровиця	вода	1001	7	0,70 ± 0,20 ^a
Боровиця	НЕС 0,01%	1008	80	7,94 ± 0,26 ^b
Боровиця	НЕС 0,025%	1005	104	10,35 ± 0,34 ^c
Каланча	вода	1000	10	1,00 ± 0,15 ^a
Каланча	НЕС 0,01%	1004	69	6,87 ± 0,25 ^b
Каланча	НЕС 0,025%	1005	84	8,36 ± 0,37 ^c
Полянка	вода	1007	6	0,60 ± 0,26 ^a
Полянка	НЕС 0,01%	1003	75	7,48 ± 0,29 ^b
Полянка	НЕС 0,025%	1005	92	9,15 ± 0,37 ^c
Почайна	вода	1005	8	0,80 ± 0,06 ^a
Почайна	НЕС 0,01%	1002	65	6,49 ± 0,20 ^b
Почайна	НЕС 0,025%	1003	90	8,97 ± 0,27 ^c

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при $P0,05$

Для випадку з мостами хроматидними та хромосомними суттєвої різниці за фактором генотип знов не виявлено ($F = 2,03$; $F_{0,05} = 2,76$; $P = 0,09$), за фактором концентрація різниця достовірна ($F = 55,90$; $F_{0,05} = 3,73$; $P = 1,76 \cdot 10^{-4}$). Однак попарне порівняння показало, що хоча перша концентрація значуще діяла в порівнянні з контролем, при переході між окремими концентраціями різниця була достовірна не завжди (сорти Зелений Гай, Золото України, Нива Одеська, Полянка). Загалом, кількість мостів варіювала від 13 (сорти Нива Одеська, Полянка, Почайна) до 25 (сорт Золото України) при дії НЕС 0,01%, при концентрації НЕС 0,025% від 37 (сорт Балатон) до 13 (сорт Нива Одеська).

Таблиця 2

Спектр хромосомних аберацій при дії НЕС. Перша група (x, n = 25)

Варіант	Фрагменти		Мости		фрагменти/ мости	інші		комплексні	
	шт.	%	шт.	%		шт.	%	шт.	%
Балатон	4 ^a	40,0	4 ^a	40,0	1,0	1 ^a	10,0	0 ^a	0,0
Балатон, НЕС 0,01%	35 ^b	52,2	22 ^b	32,8	1,6	10 ^b	14,9	15 ^b	22,4
Балатон, НЕС 0,025%	51 ^c	50,5	37 ^c	36,6	1,4	13 ^b	12,9	22 ^c	21,8
Зелений Гай	4 ^a	44,4	3 ^a	33,3	1,3	2 ^a	22,2	0 ^a	0,0
Зелений Гай, НЕС 0,01%	26 ^b	46,4	19 ^b	33,9	1,4	11 ^b	19,6	13 ^b	23,2
Зелений Гай, НЕС 0,025%	34 ^c	46,6	22 ^b	30,1	1,6	17 ^c	23,3	18 ^c	24,7
Золото України	5 ^a	62,5	3 ^a	37,5	1,7	0 ^a	0,0	0 ^a	0,0
Золото України, НЕС 0,01%	40 ^b	53,3	25 ^b	33,3	1,6	10 ^b	13,33	13 ^b	17,3
Золото України, НЕС 0,025%	47 ^b	50,5	32 ^b	34,4	1,5	14 ^b	15,1	23 ^c	24,7
Нива Одеська	4 ^a	50,0	3 ^a	37,5	1,3	1 ^a	12,5	1 ^a	12,5
Нива Одеська, НЕС 0,01%	38 ^b	61,3	13 ^b	20,9	2,9	11 ^b	17,7	14 ^b	22,6
Нива Одеська, НЕС 0,025%	50 ^c	63,3	13 ^b	16,5	3,9	16 ^c	20,3	23 ^c	29,1

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при P0,05

Таблиця 3

Спектр хромосомних аберацій при дії НЕС. Друга група (x, n = 25)

Варіант	Фрагменти		Мости		фрагменти/ мости	інші		комплексні	
	шт.	%	шт.	%		шт.	%	шт.	%
Боровиця	3 ^a	42,9	3 ^a	42,9	1,0	1 ^a	14,3	0 ^a	0,0
Боровиця, НЕС 0,01%	48 ^b	60,0	16 ^b	20,0	3,0	16 ^b	20,0	13 ^b	16,3
Боровиця, НЕС 0,025%	56 ^c	53,9	25 ^c	24,0	2,2	23 ^c	22,1	26 ^c	25,0
Каланча	4 ^a	40,0	5 ^a	50,0	0,8	1 ^a	10,0	0 ^a	0,0
Каланча, НЕС 0,01%	41 ^b	59,4	14 ^b	20,3	2,9	14 ^b	20,3	14 ^b	20,3
Каланча, НЕС 0,025%	45 ^b	53,6	20 ^c	23,8	2,3	19 ^c	22,6	22 ^c	26,2
Полянка	2 ^a	33,3	2 ^a	33,3	1,0	2 ^a	33,3	0 ^a	0,0
Полянка, НЕС 0,01%	49 ^b	65,3	13 ^b	17,3	3,8	13 ^b	17,3	11 ^b	14,7
Полянка, НЕС 0,025%	57 ^c	61,9	16 ^b	17,4	3,6	19 ^c	20,7	20 ^c	21,7
Почайна	3 ^a	37,5	5 ^a	62,5	0,6	0 ^a	0,0	0 ^a	0,0
Почайна, НЕС 0,01%	38 ^b	58,5	13 ^b	20,0	2,9	14 ^b	21,5	11 ^b	16,9
Почайна, НЕС 0,025%	46 ^c	51,1	22 ^c	24,4	2,1	22 ^c	24,4	19 ^c	21,1

Примітка: різниця статистично достовірна за факторним аналізом ANOVA за концентраціями при P0,05

Що стосується інших типів хромосомних перебудов, таких відстаючі хромо-
соми та мікродра, то для них фактор генотипу виявився значим ($F = 2,92$; $F_{0,05} = 2,76$; $P = 0,05$), проте суттєвим було і підвищення даного типу аберацій при

підвищенні концентрації ($F = 67,11$; $F_{0,05} = 3,73$; $P = 3,16 \cdot 10^{-6}$). При попарному порівнянні варіантів знаходимо, що всіх варіантів є статистично достовірні відмінності, крім сортів Балатон та Золото України. Також значні відмінності від контролю у всіх випадках. Кількість інших аберацій варіювала від 10 (сорт Балатон та Золото України) до 16 (сорт Боровиця) при дії НЕС 0,01%, при концентрації НЕС 0,025% від 13 (сорт Балатон) до 23 (сорт Боровиця).

Кількість клітин з двома і більше абераціями зазвичай є вкрай надійним і достовірним параметром, який відображає підвищення концентрації (дозу) мутагену. У той же час, вплив генотипу на цей процес незначний ($F = 2,03$; $F_{0,05} = 2,76$; $P = 0,09$), збільшення концентрації веде до значного зростання частоти комплексних змін ($F = 129,16$; $F_{0,05} = 3,73$; $P = 2,13 \cdot 10^{-8}$). Число клітин з двома і більше абераціями при дії НЕС 0,01% від 11 (сорт Почайна та Полянка) до 15 (сорт Балатон), при концентрації НЕС 0,025% від 18 (сорт Зелений Гай) до 26 (сорт Боровиця). При попарному порівнянні варіантів знаходимо, що всіх варіантів є статистично достовірні відмінності, без винятку. Також значні відмінності від контролю у всіх випадках.

Факторний аналіз показав (таблиця 4), що значущими збільшення концентрації НЕС були для всіх вивчених параметрів, крім кількості мостів, генотип ж вплинув лише зміни кількості інших аберацій.

Таблиця 4

Результати факторного аналізу

Параметр	Концентрація	Сорт
Загальна частота	0,993167*	0,513157
Фрагментів	0,961450*	0,343113
Мостів	0,506745	0,463154
Інші аберації	-0,811343*	0,712215*
Комплексні	0,967259*	0,263153
Варіативність пояснена	3,668541	1,634532
Не пояснена	0,917135	1,017930

Примітка: * – статистично достовірно при $P < 0,05$

Для визначення характеру впливу цитогенетичної активності залежно від факторів генотипу об'єкта впливу та концентрації мутагену було проведено дискримінантний аналіз (таблиця 5, таблиця 6, рисунок 1). Як видно, у випадку з генотипом дискримінантний аналіз показав значущість для генотипу лише одного параметра моделі -інші типи аберацій.

Таблиця 5

Результати дискримінантного аналізу

Параметр	Генотип			Концентрація		
	Лямбда Уїлкса	F критичне (4,14)	p	Лямбда Уїлкса	F критичне (2,66)	p
Загальна частота	0,298	2,17	0,11	0,029	9,06	0,01
Фрагментів	0,275	2,39	0,11	0,026	4,83	0,01
Мостів	0,314	1,72	0,12	0,225	1,78	0,07
Інші аберації	0,016	5,33	0,03	0,021	4,76	0,01
Комплексні	0,183	3,12	0,10	0,040	26,03	0,01

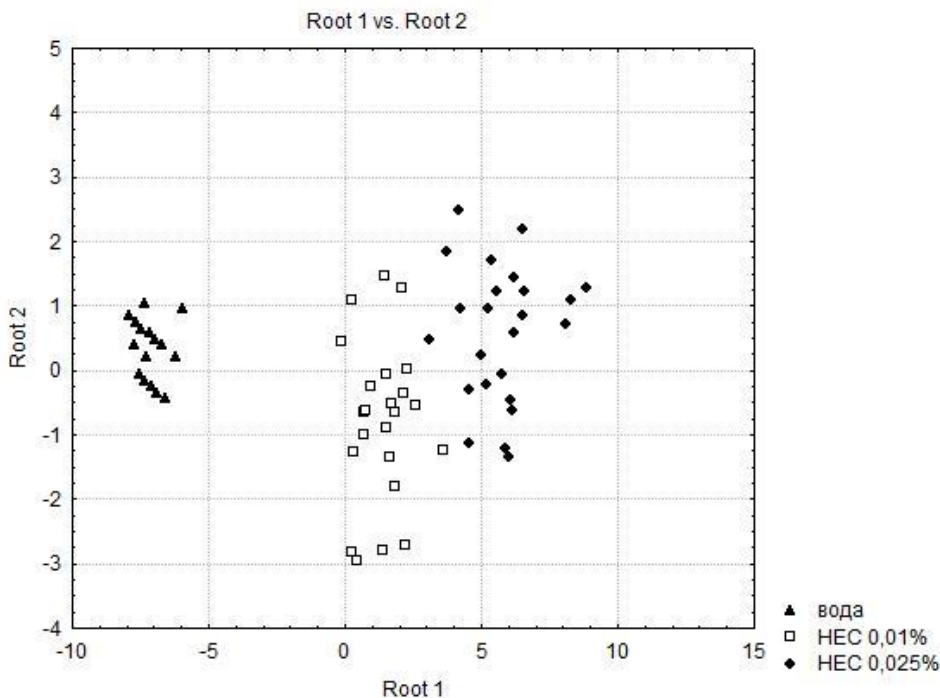


Рис. 1. Класифікація в факторному просторі

У разі концентрації картина характерна для дії хімічних супермутагенів (у модельні не увійшов параметр наявність мостів). Таким чином, якщо роздільна здатність ознак достатня лише у разі збільшення концентрації для побудови моделі достатня (Рис. 1). Однак це не означає неможливість моделювання та класифікації випадків для окремих сортів.

Таким чином, за модельними ознаками для генотипів відрізняються лише присутності рідкісних типів аберацій (мікроядер, що відстають хромосом). Більше значних відмінностей немає. Очевидно, саме ця частина спектра і зумовила зміни за загальною частотою цитогенетичних порушень, які вплинули на відмінності двох сортів від інших за характером мінливості на клітинному рівні. У той самий час зміни концентрації були значно більш впливовими, проте, лише для параметрів характерних для хімічного мутагенезу. Можна зробити висновок, що сайт-специфічні можливості мутагену проявляються саме таким чином, а не через індукцію фрагментів і мостів, які мають більш загальний характер. При цьому в цілому не варто очікувати особливо високих параметрів мінливості на рівні організму, також мутаген у своїх концентраціях, що застосовуються, не досяг значних летальних величин для даних генотипів.

Висновки і пропозиції. Результати наших досліджень знову показали не тільки, що дослідження цитогенетичних параметрів активності навіть порівняно непогано вивчених мутагенних факторів має сенс в аспекті їх взаємодії, але й те, що навіть порівняно менш ушкоджуючі речовини деколи показують досить значні ефекти з точки зору як індукції загальної частоти перебудов, так і їх співвідношень

у спектрі, що залежить насамперед від особливостей архітектури ДНК конкретних сортів. У нашому випадку це показали значні відмінності двох сортів, реакція на дію НЕС досить сильно відрізнялася від інших об'єктів впливу. При цьому, навіть не дивлячись на порівняно низьку ушкоджувальну здатність, активності даного супермутагена достатньо, щоб між окремими варіантами були статистично значущі відмінності по дії на рівні хромосомного апарату клітини. Дослідження показали, що значні ефекти з точки зору як загальної індукції цитогенетичних порушень, так і в плані співвідношення різних їх типів досить сильно відрізняються в плані зміни концентрації, ніж за їх особливостями у прояві в залежності від генотипу об'єкту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Abaza G., Awaad A., Attia M., Abdellateif S., Gomaa A., Abaza S., Mansou, 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. Beiko V., Nazarenko M. Early depressive effects of epimutagen in the first generation of winter wheat varieties. *Agrology*. 2022. 5(2). P. 252–264.
3. Beiko V., Nazarenko M. Occurrence of cytogenetic effects under the epimutagen action for winter wheat. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. 13(3). P. 252–264.
4. Bezie Y., Tilahun T., Atnaf M., Taye M. The potential applications of site-directed mutagenesis for crop improvement: A review. *Journal of Crop Science and Biotechnology*. 2020. 24. P. 229–244.
5. Horshchar V., Nazarenko M. Inhibition of mutagenic effect in winter wheat as a result of ethylmethansulfonate action. *Agrology*. 2022. 5(3), P. 75–80.
6. Horshchar V., Nazarenko M. Winter wheat cytogenetic variability under the action of a chemical supermutagen. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2022. 13(4). P. 373–378.
7. Hase Y., Satoh K., Seito H., Oono Y. Genetic consequences of acute/chronic gamma and carbon ion irradiation of *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*. 2020. 11. 336.
8. Gharib M., Qabil N., Salem A., Ali M., Awaad H., Mansour E. Characterization of wheat landraces and commercial cultivars based on morpho-phenological and agronomic traits. *Cereal Research Communication*. 2021. 49, P. 149–159.
9. Oney-Birol S., Balkan A. Detection of cytogenetic and genotoxic effects of gamma radiation on M1 generation of three varieties of *Triticum aestivum* L. *Pakistan Journal of Botany*. 2019. 51(3). P. 887–894.