

УДК 575.224.4:504.5

## МУТАГЕННА АКТИВНІСТЬ ЗАБРУДНЕНЬ ҐРУНТУ ЗАБОРОНЕНИМИ І НЕПРИДАТНИМИ ДО ВИКОРИСТАННЯ ПЕСТИЦИДАМИ

Р.А. ЯКИМЧУК

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України,  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17  
e-mail: peoplenature@rambler.ru*

Досліджено вплив забруднень ґрунту пестицидами на частоту хромосомних аберацій і видимих мутацій в озимій пшениці. Виявлено зростання частоти абераційних клітин в 2,0-4,4 рази та видимих мутацій в 3,4-5,4 рази. Серед типів аберацій, індукованих пестицидними забрудненнями, переважно зустрічаються ацентричні фрагменти й дицентричні мости хроматидного типу. Встановлено, що залишки пестицидів у ґрунті здатні проявляти анеугенну дію на клітини кореневої меристеми, а зростання рівня відстаючих хромосом і мікроядер у спектрі типів цитогенетичних порушень у порівнянні зі спонтанним, може використовуватись як біоіндикатор забруднення навколишнього середовища мутагенами хімічної природи, зокрема й генотоксичними пестицидами. Мутантні форми середньоранні, з довгим, щільним, нещільним, циліндричним, скверхедним, напівостистим, безостистим колосом виявилися типовими за умов забруднення ґрунту пестицидами.

*Ключові слова:* *Triticum aestivum L.*, забруднення пестицидами, хромосомні аберації, цитогенетичні порушення, мутагенна активність, генетичні наслідки.

Інтенсивна діяльність людства на сучасному етапі розвитку науки, технології та техніки призвела до появи в об'єктах оточуючого середовища величезних мас хімічних речовин, які в різній мірі володіють біологічною активністю та викликають численні екологічні зміни. Внаслідок їх впливу порушується природний хімічний склад ґрунту, пов'язаний з проникненням нехарактерних для нього речовин або збільшенням концентрацій природних речовин до величин, які перевищують норму [10]. Для сільськогосподарських районів найхарактернішими антропогенними забруднювачами ґрунтів є пестициди, щорічні надходження яких на поля України сягають за 90 тис. т. Із 170 найменувань пестицидів, які використовуються в Україні, 49 є особливо небезпечними [13, 43], так як здатні підвищувати рівень мутабільності сільськогосподарських рослин, тварин і людини, викликати стерильність і втрату типовості сортів сільськогосподарських рослин [5, 20]. На сьогодні площа земель, забруднених стійкими хлорорганічними препаратами, що заборонені для використання в 1988 році, а в 2001 році, відповідно до підписаної Україною «Стокгольмської конвенції», віднесені до переліку особливо небезпечних забруднювачів [18, 32], становить близько 8 млн. га, а на кількох сотнях тисяч гектарів їх вміст набагато перевищує гранично допустимі концентрації. Лише в 1986 році гігієнічні й агрохімічні рекомендації територіального навантаження пестицидів перевищені в цілому по Україні в 22 з 25 областей, що складає 88% сільськогосподарських угідь її території [4]. Особливу небезпеку для навколишнього середовища складають також і території сховищ, де зберігаються чи зберігалися заборонені й непридатні до використання пестициди. В агропромисловому комплексі України таких об'єктів зосереджено понад 4000, які вміщують 19341,9 т отрутохімікатів [6]. Більшість сховищ, побудованих понад 40 років тому, не відповідають сучасним санітарним нормам і переважно є занедбаними чи зруйнованими [30]. Таким чином, ситуація, що склалася в Україні у сфері поводження з пестицидами в результаті надмірного їх накопичення, сягнула критичної межі і потребує термінового вирішення [23], а проблема наслідків

забруднення ними навколишнього середовища, залишається актуальною і пріоритетною [30]. Більшість досліджень зводяться в основному до моніторингу та встановлення величин концентрації пестицидів у ґрунті, воді й продуктах харчування [3, 25, 33]. Зважаючи на те, що хлорорганічні пестициди мають надкумулятивну активність (період напіввиведення з організму сягає від 5 до 15 років) та, як наслідок, здатні змінювати імунологічний статус живих організмів, проявляють мутагенну й тератогенну дію [16], слід приділяти особливу увагу їх токсикологічній небезпеці на генетичному рівні [32]. І якщо антропогенно індуковані зміни, які виникають на рівні екосистем, окремих біоценозів, або пов'язані зі зникненням представників природної фауни і флори, скороченням щільності генофонду окремих видів і популяцій, проявляються відразу і можуть ефективно реєструватися за допомогою контактних чи дистанційних методів, то зміни, які виникають на клітинному й молекулярному рівнях і викликані пошкодженням генетичних структур, можуть проявлятися значно пізніше, іноді в наступних поколіннях [17]. Це ставить питання про доцільність проведення моніторингових досліджень територій розміщення сховищ непридатних пестицидів, що дозволить дати адекватну оцінку генетичних ризиків для живих організмів, у тому числі й людини. Розроблена на даний час система еколого-генетичного моніторингу включає дослідження з біоіндикації мутагенів у об'єктах довкілля за допомогою цитогенетичного аналізу [3] та подальшим вивченням видимих спадкових змін у низці прийдешніх поколінь. Для цієї мети моніторингу забруднення навколишнього середовища потенційно небезпечними в генетичному відношенні сполуками найбільш зручними є рослинні тест-системи [2].

Метою досліджень було вивчити частоту і спектр типів хромосомних аберацій і видимих мутацій в озимій пшениці, індукованих хімічним забрудненням ґрунту територій сховищ заборонених і непридатних до використання пестицидів та у місцях їх тривалого застосування.

## Методика

Для вивчення мутагенної активності хімічних забруднень ґрунту територій розміщення сховищ пестицидів проведено цитогенетичний аналіз меристематичних клітин первинних корінців проростків озимої пшениці (*Triticum aestivum* L.) сортів Альбатрос одеський і Зимоярка, насіння якої пророщено у зразках ґрунту, відібраних у місцях складування і зберігання заборонених чи непридатних до використання отрутохімікатів: с. Джурин Шаргородського р-ну Вінницької обл., де зберігається 1023,7 т непридатних пестицидів, що складає 1/10 частину усіх непридатних отрутохімікатів України; с. Демівка Чечельницького р-ну Вінницької обл., де зберігалось 200 т пестицидів і отрутохімікатів; за 5 км від станції «Затишся» Ширяївського р-ну Одеської обл., де зберігається 250 т отрутохімікатів, які зазнали вибуху після перезатарювання; с. Новогорівка Токмацького р-ну Запорізької обл., де зберігалось 120 т непридатних пестицидів [22]. Зважаючи на те, що територія Полтавської області входить до умовно чистих регіонів України, а її ґрунти не зазнали істотного радіонуклідного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, не містять залишків хлорорганічних і фосфорорганічних пестицидів і вміст важких металів у кілька разів нижчий за гранично допустимі концентрації [26, 27, 33], за контроль було взято зразки ґрунту території с. Сватки Гадяцького р-ну Полтавської обл.

Відбір проб ґрунту здійснювали на територіях сховищ пестицидів та в межах санітарної зони у відповідності до стандартних методик [1]. Аналіз концентрацій отрутохімікатів у ґрунті проведено в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування (табл. 1).

Насіння пшениці пророщували за температури 24-26 °С в чашках Петрі у зволожений дистильованою водою зразках ґрунту з досліджуваних точок. Первинні корінці завдовжки 0,8-1,0 см фіксували протягом 1,5 год в «оцтовому алкоголі» та в подальшому піддавали мацерації дією 1 н розчину соляної кислоти. З апікальної меристеми коренів, забарвлених

ацетоорсеїном, виготовляли тимчасові давлені препарати [24]. Частоту хромосомних порушень визначали за співвідношенням кількості аберантних клітин до загальної кількості клітин на стадіях анафази та ранньої телофази. Вибірка становила не менш як 1000 клітин для кожного варіанта.

Для вивчення частоти і спектра видимих мутацій рослини озимої пшениці сортів Альбатрос одеський і Зимоярка вирощено у 2012-2013 рр. у місцях складування і зберігання заборонених чи непридатних до використання отрутохімікатів та на територіях їх тривалого застосування: с. Джурин Шаргородського р-ну Вінницької обл.; за 5 км від станції «Затишся» Ширяївського р-ну Одеської обл.; старий яблуневий сад Інституту зрошуваного садівництва ім. М.Ф. Сидоренка НААН України (м. Мелітополь), де вміст сумарних залишкових кількостей ДДТ знаходиться на рівні 1,0 ГДК, а максимальний вміст перевищує ГДК в 5,4 раза; вапняковий кар'єр «Алтестове» (с. Алтестове, Біляївського р-ну Одеської обл.), де зберігається найбільша кількість ДДТ – 800 т. За контроль взято територію дослідного господарства Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (сmt Глеваха Васильківського р-ну Київської обл.), де протягом багатьох років вивчається спонтанний рівень мутаційної мінливості рослин озимої пшениці.

Перше покоління рослин ( $M_1$ ) вирощували на забруднених територіях суцільним посівом. Рослини поколінь  $M_2$  і  $M_3$  вирощували чітко родинами, що давало можливість виявляти макро- і мікромутації та здійснювати їх правильний облік. Родиною вважали групу рослин, отриманих з насіння одного колоса. За різні випадки мутування брали рослини, які фенотипно відрізнялись від вихідної форми в межах однієї родини. Рослини зі зміненими ознаками виділяли ретельним оглядом усіх родин під час проходження ними основних фаз росту і розвитку. Частоту і спектр мутантних форм обліковували лише з покоління  $M_3$  після перевірки успадкування змінених ознак за співвідношенням кількості родин із мутантними рослинами до числа вивчених родин покоління  $M_2$ .

Експериментальні дані оброблено статистично загальноприйнятими методами [7], вірогідність різниці оцінено за критерієм Стюдента. У таблицях наведені середні арифметичні та їх стандартні похибки.

Таблиця 1

## Концентрації пестицидів у пробах ґрунту (мг/кг)

Назва хімічної сполуки	ГДК (у ґрунті)	Місце розташування сховища та концентрація пестицидів у ґрунті			
		с. Джурин Вінницька обл.	ст. «Затишшя» Одеська обл.	с. Демівка Вінницька обл.	с. Новогорівка Запорізька обл.
ГХЦГ- $\alpha$	0,1	-	0,22	0,04	6,68
ГХЦГ- $\beta$	0,1	-	6,20	0,04	15,57
ГХЦГ- $\gamma$	0,1	-	1,39	-	3,43
ГХЦГ- $\delta$	0,1	-	0,60	-	7,61
ГХЦГ- $\epsilon$	0,1	-	0,86	-	4,75
2,4'-ДДЕ	0,1	-	89,38	0,91	40,77
4,4'-ДДЕ	0,1	1,82	14,21	0,44	6,78
2,4'-ДДД	0,1	3,10	2220,60	28,75	288,36
4,4'-ДДТ	0,1	38,0	122,91	15,29	54,82
Σ 4,4'-ДДД, 2,4'-ДДТ	0,1	178,4	130,56	1,55	23,66
Трифлуралін	0,1	-	0,06	0,01	1,02
Гексахлорбензол	0,03	-	0,70	0,05	4,10
Прометрин	0,5	-	0,85	0,01	10,97
Симазин	0,01	-	0,18	-	29,59
Атразин	0,01	-	2,88	-	24,77
Метолахлор	0,02	-	4,93	-	0,07
Метоксихлор	не нормується	-	-	-	0,98
Десметрин	0,01	-	-	-	0,06
Аметрин	не нормується	-	-	-	0,26
Триадименол	0,02	-	-	-	0,48
Транс-хлордан	не нормується	-	-	-	0,14
Ленацил	1,0	-	-	-	109,60
Фозалон	0,5	-	-	-	38,26

**Результати й обговорення**

За результатами цитогенетичного аналізу меристематичних клітин первинних корінців озимої пшениці встановлено, що забруднення ґрунту з територій розміщення сховищ пестицидів, проявляючи високу мутагенну активність, викликає підвищення в 2,0-4,4 раза рівня аберантних клітин

(табл. 2). Наслідком забруднення ґрунту територій сховищ, розміщених у с. Джурин Вінницької обл. і с. Новогорівка Запорізької обл., є достовірне зростання хромосомних аберацій та аномалій мітозу в меристематичних клітинах насіння озимої м'якої пшениці обох досліджуваних сортів. Рівень хромосомних мутацій складає  $1,39 \pm 0,33\%$  й  $1,76 \pm 0,41\%$  для сорту Альбатрос одеський і  $1,39 \pm 0,36\%$  й  $1,30 \pm 0,33\%$  для сорту Зимоярка та перевищує показники контролю відповідно в 3,5 і 4,4 раза та в 3,0 і 2,8 раза (рис. 1). Про інтенсивну мутагенну дію хімічних забруднень ґрунту території зруйнованого сховища с. Демівка Вінницької обл. та сховища поблизу ст. «Затишся» Одеської обл. свідчить статистично достовірне зростання рівня абераційних клітин сорту Альбатрос одеський. Частота ана-телофаз із хромосомними перебудовами сягає відповідно  $1,57 \pm 0,33\%$  й  $1,18 \pm 0,29\%$ , що в 3,9 і в 3,0 раза вище контрольного рівня. Статистично достовірного підвищення хромосомних мутацій у клітинах меристеми корінців проростків пшениці сорту Зимоярка за дії забруднень ґрунту території сховищ с. Демівка та ст. «Затишся» не виявлено, проте концентрація суміші отрутохімікатів, якими просяк ґрунт, виявилась такою, що подвоює рівень спонтанних аберацій, сягаючи відповідно  $0,91 \pm 0,23\%$  і  $0,98 \pm 0,27\%$ . Причини істотних відмінностей частот хромосомних аберацій у рослин різних генотипів можуть бути пов'язані зі специфікою генетичного контролю функціональної активності білків, що забезпечують упакування первинних послідовностей ДНК [40].

Зважаючи на експериментально підтверджену наявність прямої залежності між збільшенням територіального навантаження хімічних засобів захисту рослин у ґрунтах та зростанням вмісту залишкових кількостей пестицидів у суміжних з ними середовищах [4, 28], було вивчено цитогенетичну активність хімічних компонентів ґрунту санітарної зони сховища в с. Демівка. Встановлено, що частота клітин з хромосомними перебудовами, які індуковані залишками сумішей пестицидів у ґрунті прилеглої до сховища території, складає  $0,97 \pm 0,26\%$  для сорту Альбатрос

Таблиця 2

Частота і спектр хромосомних аберацій в озимій пшениці за дії забруднень ґрунтів територій сховищ пестицидів

Місце відбору зразків	Вивчено		Мітози з порушеннями і хромосомними абераціями		Спектр порушень мітозу та хромосомних аберацій											
	коренів, шт.	ана-телофаз мітозів, шт.			шт.	%	фрагменти		мости		мости + фрагменти		мікроядра		відстаючі хромосоми	
			шт.	%			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Альбатрос одеський																
с. Сватки Полтавська обл. (контроль)	21	1257	7	0,40±0,18	3	0,24	2	0,16	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
с. Джурин Вінницька обл.	18	1227	17	1,39±0,33*	6	0,49	6	0,49	0	0,00	0	0,00	4	0,33*	1	0,08
ст. «Затишшя» Одеська обл.	12	1437	17	1,18±0,29*	7	0,49	9	0,62	0	0,00	1	0,07	0	0,00	0	0,00
с. Демівка Вінницька обл.	15	1463	23	1,57±0,33*	16	1,09*	3	0,20	1	0,07	2	0,14	1	0,07	0	0,00
с. Демівка Вінницька обл. (санзона)	15	1443	14	0,97±0,26	5	0,35	7	0,48	0	0,00	0	0,00	2	0,14	0	0,00
с. Новогорівка Запорізька обл.	24	1021	18	1,76±0,41*	12	1,17*	3	0,29	0	0,00	1	0,10	1	0,10	1	0,10
Зимоярка																
с. Сватки Полтавська обл. (контроль)	21	1083	5	0,46±0,21	3	0,28	0	0,00	0	0,00	0	0,00	2	0,18	0	0,00



## Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
с. Джурин Вінницька обл.	24	1078	15	1,39±0,36*	4	0,37	10	0,93*	1	0,09	0	0,00	0	0,00	0	0,00
ст. «Затишшя» Одеська обл.	15	1330	13	0,98±0,27	11	0,82	1	0,08	1	0,08	0	0,00	0	0,00	0	0,00
с. Демівка Вінницька обл.	15	1647	15	0,91±0,23	10	0,61	2	0,12	0	0,00	0	0,00	3	0,18	0	0,00
с. Демівка Вінницька обл. (санзона)	12	1408	15	1,07±0,27	5	0,36	8	0,57*	0	0,00	1	0,07	1	0,07	0	0,00
с. Новогорівка Запорізька обл.	21	1149	15	1,30±0,33*	11	0,96*	2	0,17	0	0,00	0	0,00	2	0,17	0	0,00

\* - різниця відносно контролю статистично вірогідна за  $P \leq 0,95$

одеський і  $1,07 \pm 0,27\%$  для сорту Зимоярка, що більш як удвічі перевищує показники контролю.

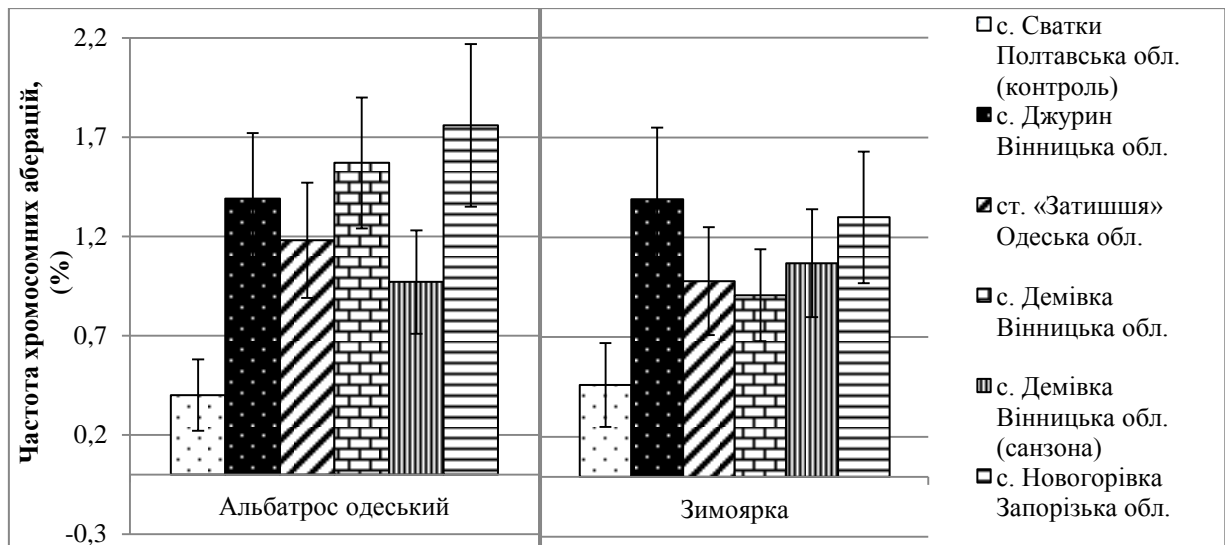


Рис. 1. Частота хромосомних аберацій в озимій пшениці за дії забруднень ґрунту територій сховищ заборонених і непридатних до використання пестицидів

Поширенню токсичних речовин на десятки кілометрів, посиленню їх мутагенної активності може сприяти низка некерованих хімічних реакцій, наслідки яких заздалегідь неможливо спрогнозувати [3, 30]. Так, серед сполук, виявлених у зразках ґрунту території сховищ поблизу ст. «Затишшя» та в селах Демівка і Новогорівка виявлено низку ізомерів гексахлорциклогексану (ГХЦХ), частина з яких є стабільними. На сьогодні відомо, що  $\alpha$ - і  $\gamma$ -ГХЦГ є онкогенами для теплокровних тварин.  $\beta$ -ізомер володіє найменшою токсичністю серед усіх ізомерів ГХЦГ, однак здатний викликати хронічну інтоксикацію. Серед виявлених продуктів розпаду дихлордифенілтрихлорметилметану (ДДТ), виявлених у зразках ґрунтів усіх обстежених об'єктів, найбільш небезпечні дихлордифенілетилен (ДДЕ) і дихлордифенілдіхлоретан (ДДД). За показниками токсичності ДДТ, ДДЕ і ДДД близькі (I клас небезпеки), однак метаболіт ДДЕ більш стабільний, ніж ДДТ. Особливістю ДДД є його висока хронічна токсичність. Варто також

зазначити, що ДДТ і його метаболіти негативно впливають на репродуктивну систему [19].

Високий рівень хромосомних мутацій в озимій пшениці, виявлений за умов пророщування насіння в ґрунті, відібраного із санітарної зони сховища пестицидів, вказує на неконтрольоване поширення отрутохімікатів за межі їх локального зберігання та генетичну загрозу для організмів, що мешкають на прилеглих до сховищ територіях.

Аналізуючи частоту абераційних клітин, слід одночасно приділяти увагу вивченню типів хромосомних аберацій та їх співвідношенню. Наявність такої інформації дає повніше уявлення про характер цитогенетичних пошкоджень і дозволяє встановити залежності частоти аберацій від дози та умов індукованого мутагенезу. Серед типів аберацій, індукованих забрудненнями ґрунту, переважно зустрічаються ацентричні фрагменти й дицентричні мости хроматидного типу, рівень яких суттєво перевищує показники контролю. Їх частка і співвідношення у загальному спектрі хромосомних перебудов визначається інтенсивністю забруднення ґрунту та варіює в залежності від генотипу рослин. Висока частота цитогенетичних порушень мітозів за дії сумішей пестицидів ґрунту територій сховищ в селах Новогорівка і Демівка у проростках обох досліджуваних сортів обумовлена істотним зростанням рівня поодиноких ацентричних фрагментів. Такий же тип хромосомних аберацій меристематичних клітин проростків сорту Зимоярка виявився домінуючим і за умов впливу політантів ґрунту сховищ біля ст. «Затишшя». Відсоток ацентричних мостів хроматидного типу в клітинах кореневої меристеми проростків сорту Зимоярка у спектрі типів хромосомних аберацій виявився найвищим за дії отрутохімікатів сховищ у с. Джурин та санітарної зони сховища в с. Демівка. Дицентричні мости й ацентричні фрагменти, індуковані у меристематичних клітинах корінців проростків сорту Альбатрос одеський забрудненнями ґрунту сховища в с. Джурин і санітарної зони сховища в с. Демівка виявлено приблизно з однаковою частотою. В дослідженнях В.В. Моргуна і В.Ф.

Логвиненко (1995) з вивчення впливу 2,4-дихлорфеноксоцтової кислоти на вегетуючі рослини озимої пшениці також зазначено, що гербіцид і його похідні індукують однакові зі спонтанним типи порушень хромосом, серед яких значну частку складають ацентричні фрагменти [20]. Зростання кількості клітин з фрагментацією хромосом за сумісної дії залишкових кількостей пестицидів і важких металів на клітини кореневої меристеми цибулі (*Allium cepa* L.) пов'язують з підвищенням концентрацій залишків токсичних речовин у ґрунті [9], в той час як мости виявились аномалією найяскравіше вираженою за умов помірного забруднення територій. Результати, одержані при вивченні мутагенної активності різних хімічних супермутагенів у низьких і високих концентраціях на озимій пшениці демонструють домінування поодиноких мостів та ацентричних фрагментів, при чому відносна частота хроматидних мостів була більшою [21]. Такі ж результати одержані в досліджах з вивчення генотипної реакції житняка гребінчастого (*Agropyron cristatum* L.) і райграсу багаторічного (*Lolium perenne* L.) на хімічні супермутагени [42].

Орієнтація генотоксичних тестів лише на облік структурних хромосомних аберацій чи пошкоджень ДНК суттєво звужує уявлення про мутагенні властивості досліджуваних факторів. В результаті з поля зору випадає цілий клас геномних мутацій, які мають не менше, а можливо і значно більше значення у формуванні віддалених генетичних наслідків. Встановлено, що залишки пестицидів у ґрунтах зазначених територій здатні проявляти анеугенну дію на клітини кореневої меристеми сорту Альбатрос одеський, наслідком чого є істотне зростання у загальному спектрі типів цитогенетичних порушень частки клітин з відстаючими хромосомами. Індукувати геномні мутації за відсутності вираженого кластогенного ефекту також здатні й циклічні вуглеводні, що мають яскраво виражені канцерогенні властивості [38]. Рівень анеугенних клітин проростків сорту Зимоярка за дії забруднень територій сховищ не відрізняється від контрольного та достовірно не впливає на зростання загальної частоти хромосомних аберацій

і ядерних аномалій. На думку К. Бенлі (2000) вплив анеугенів проявляється у вигляді «багатоударного» механізму, тобто їх ефект частіше проявляється не шляхом прямого впливу на хромосому, а через взаємодії з багатьма мішенями, прямо чи опосередковано контролюючих сегрегацію хромосом. Наслідком таких подій є відсутність видимого ефекту при концентрації агента нижче порогової, а перевищення порогу призводить до нелінійного наростання частоти кількісних хромосомних порушень зі збільшенням концентрації анеугена [29, 36].

Найбільшу кількість типів цитогенетичних порушень у кореневій меристемі проростків пшениці виявлено за умов впливу токсикантів ґрунту сховищ в селах Джурин, Демівка і Новогорівка. Спектр їх розширюється за рахунок формування мультиполярних мітозів та клітин з мікроядрами і кільцевими ацентричними хромосомами (рис 2а). Зважаючи на те, що при хімічному мутагенезі мікроядра у 60-80% випадків містять цілі хроматиди чи хромосоми [35], їх поява у меристематичних клітинах може в черговий раз свідчити про здатність пестицидів ґрунту територій сховищ спричиняти блокування веретена поділу й викликати відставання хромосом. За результатами досліджень деяких авторів [11, 41] встановлено, що клітини з мікроядрами та патологіями поділу характеризуються пониженою життєздатністю, а збільшення їх кількості призводить, як правило, до пригнічення мітотичної активності. Виявлений тип порушень хромосомного апарату дуже рідко зустрічається в популяціях, не обтяжливих дією мутагенних факторів [12]. Тому рівень частоти відстаючих хромосом і мікроядер у спектрі типів цитогенетичних порушень може використовуватись як біоіндикатор забруднення навколишнього середовища мутагенами хімічної природи, зокрема й генотоксичними пестицидами.

Показником мутагенної активності екотоксикантів може виступати і частота клітин з множинними абераціями. В той же час, збільшення дисперсії індивідуальних частот пошкоджень хромосом у популяціях є однією з ознак мутагенної дії в низьких концентраціях, навіть якщо середнє значення виходу

аберацій у порівняльних групах статистично достовірно не відрізняється [8, 34]. Вважається, що аналіз типу поклітинного розподілу кількості аберацій може дати важливу інформацію про механізми взаємодії мутагену з ядерним матеріалом. Геометричний та від'ємний біномний розподіл вважаються більш характерними за дії мутагенів хімічної природи: в першому випадку акт взаємодії мутагену з ДНК є одностадійним процесом, в другому – дво- чи багатастадійним. Разом з тим, поклітинний розподіл аберацій, не проявляючи чіткої специфіки, може не відповідати жодному із зазначених теоретичних розподілів [14, 15, 8]. Серед клітин з множинними цитогенетичними порушеннями (мультиаберантні клітини), індукованими пестицидними забрудненнями ґрунту території сховищ у селах Демівка, Джурин і поблизу ст. «Затишшя», виявлено такі, що включають парні, потрійні фрагменти, ацентричний фрагмент і дицентричний хроматидний міст, парні ацентричні фрагменти і дицентричний хроматидний (рис. 2б) чи хромосомний міст, парні мікроядра, парні відстаючі хромосоми (рис. 2в). Проте закономірностей щодо дозозалежного збільшення частоти мультиаберантних клітин не виявлено, що пояснюється іншими дослідниками недостатнім мутагенним навантаженням на меристематичні клітини [34]. Незважаючи на те, що феномен мультиаберантних клітин відомий вже давно, до цього часу немає загальноприйнятих критеріїв для їх визначення. Крім того не існує єдиної думки й про причини їх виникнення. В якості мультиаберантних розглядають клітини, що містять більше ніж одну дицентричну чи кільцеву хромосому [39], в той час, як на думку М.П. Бочкова і Л.Д. Катасової, мультиаберантними є клітини з трьома і більше порушеннями хромосом [37]. В роботі А.Н. Чеботарьова на основі математичного моделювання виникнення мультиаберантних клітин при спонтанному мутагенезі запропонована двопопуляційна математична модель появи мультиаберантних клітин, яка задовільно описує розподіл клітин за кількістю аберацій. Відповідно до цієї моделі в основній популяції клітин, що складає близько 95%, мутагенез іде за рахунок випадкового впливу зовнішніх факторів, в той

час як в мінорній популяції клітин (складає близько 5%) в результаті пошкодження генів репарації та реплікації ДНК запускаються процеси, що індукують утворення численних хромосомних аберацій [31].

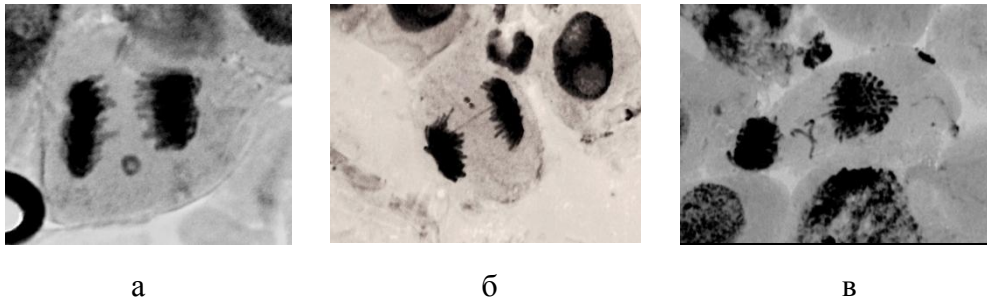


Рис. 2. Хромосомні аберації та аномалії мітозу в клітинах кореневої меристеми озимої пшениці:

а – ацентрична кільцева хромосома; б – парні фрагменти і хроматидний міст; в – парні відстаючі хромосоми.

Вивчаючи частоту видимих мутацій рослин озимої пшениці, перше покоління якої вирощено на територіях сховищ непридатних пестицидів та в місцях їх тривалого застосування, встановлено, що рівень мутаційної мінливості у поколіннях  $M_2$ - $M_3$  значно перевищує контрольні показники. Так, забруднення ґрунту сховища в межах с. Джурин викликало в рослин сорту Альбатрос одеський зростання частоти видимих мутацій у порівнянні з показниками контролю ( $0,99 \pm 0,44$  %) в 5,4 раза (табл. 3). Не дотримання належних правил безпеки при складуванні й зберіганні отрутохімікатів призвело до їх проникнення у верхні шари ґрунту та поширення за межі території сховища. Свідченням цьому є підвищений рівень мутаційної мінливості рослин сорту Зимоярка, вирощених у його санітарній зоні. Частота видимих мутацій статистично вірогідно перевищує показники контролю ( $0,77 \pm 0,38$  %) майже в 3,4 рази і складає  $2,58 \pm 1,14$  %.

Вивчення мутагенної активності залишків пестицидів безпосередньо на території сховища поблизу станції «Затиштя» унеможливив факт наявного суцільного гідроізоляційного твердого покриття ґрунту. Однак це, в свою

чергу, сприяло поширенню непридатних до використання пестицидів з водними стоками за межі території сховища. Про наявність забруднення поліюантами ґрунту прилеглої санітарної зони свідчить підвищений рівень мутацій озимої пшениці сорту Зимоярка, який становить  $3,83 \pm 1,13$  % та перевищує частоту мутацій у контролі в 5,0 разів. Не зважаючи на те, що на час проведення досліджень на сховищі залишились лише ємкості, в яких зберігались отрутохімікати невідомого хімічного складу, ґрунт прилеглої до сховища території зберігає токсичні речовини в концентраціях, здатних суттєво підвищувати генетичний тягар у популяціях живих організмів. Враховуючи те, що сховища межують з пасовищами та сільськогосподарськими угіддями, є загроза потрапляння небезпечних хімічних мутагенів до продукції рослинного і тваринного походження, а далі через ланцюги живлення, до організму людини. Таким чином, забруднювачі ґрунту сховищ заборонених і непридатних до використання пестицидів та прилеглих до них територій здатні підвищувати рівень мутаційної мінливості живих організмів та, як наслідок, можуть в подальшому призводити до порушення генетичної стабільності природних популяцій.

Особливої уваги заслуговує вивчення генетичних наслідків забруднення ґрунту ДДТ в яблуневому саду Інституту зрошуваного садівництва ім. М.Ф. Сидоренка НААН України та вапнякового кар'єру «Алтестове». Рівень видимих мутацій у рослин  $M_2$ - $M_3$  сортів Альбатрос одеський і Зимоярка, що зазнали в поколінні  $M_1$  впливу забруднень ґрунту яблуневого саду, перевищує контроль в 3,8 та 3,9 раза, складаючи відповідно  $3,09 \pm 1,08$  % і  $3,00 \pm 0,85$  %. Суттєві мутаційні зміни виявлено і в наступних поколіннях рослин, вирощених на території відпрацьованого кар'єру «Алтестове». Так у рослин  $M_2$ - $M_3$  озимої пшениці сорту Зимоярка помічено суттєве зростання частоти видимих мутацій, що перевищує їх рівень у контролі в 4,1 раза та складає  $3,18 \pm 0,78$  %. Залишки хлорорганічних пестицидів у ґрунті не мають властивості розкладатися до безпечних речовин, а лише можуть розподілятися завдяки природним та біологічним



процесам. Тому можна припустити можливість активного поширення залишків забруднення ДДТ на значні відстані від основних об'єктів його виявлення. А беручи до уваги те, що заходи із запобігання використанню сільськогосподарської продукції з території саду практично не вживаються, слід очікувати можливість безпосереднього потрапляння хлорорганічних пестицидів до організму людини та подальше виникнення генетичних порушень.

Таблиця 3

Частота видимих мутацій озимої пшениці (M<sub>2</sub>-M<sub>3</sub>), вирощеної в умовах забруднення ґрунту пестицидами

Варіант впливу	Кількість вивчених родин, шт.	Кількість мутантних родин, шт.	Частота мутантних родин, %
<b>Альбатрос одеський</b>			
сmt Глеваха (контроль)	506	5	0,99±0,44
Сховище, с. Джурин	523	28	5,35±0,98*
сmt Глеваха (контроль)	494	4	0,81±0,40
Яблуневий сад, м. Мелітополь	259	8	3,09±1,08*
<b>Зимоярка</b>			
сmt Глеваха (контроль)	522	4	0,77±0,38
Яблуневий сад, м. Мелітополь	400	12	3,00±0,85*
Вапняковий кар'єр «Алтестове»	503	16	3,18±0,78*
Санітарна зона сховища, с. Джурин	194	5	2,58±1,14
Санітарна зона сховища біля ст. «Затиштя»	287	9	3,83±1,13*

\* - різниця відносно контролю статистично вірогідна за  $P \leq 0,05$

Спектр типів мутацій вирізнявся низкою спадкових змін, які були виявлені за всіх випадків впливів забруднень ґрунту пестицидами і токсичними відходами.

#### Типи мутацій

- 1). Високоросла
- 2). Низькоросла
- 3). Напівкарлик

- 4). Карлик
- 5). Інтенсивний ріст
- 6). Ранньостигла
- 7). Середньорання
- 8). Пізньостигла
- 9). Довгий колос
- 10). Короткий колос
- 11). Крупний колос
- 12). Щільний колос
- 13). Нещільний колос
- 14). Циліндричний колос
- 15). Скверхедний колос
- 16). Безостий колос
- 17). Напівостистий колос
- 18). Антоціанові ості
- 19). Пом'яті ості
- 20). Вузький лист
- 21). Еректоїдний лист
- 22). Відсутність воскової поволоки

Вони включали форми високорослі, низькорослі, з інтенсивним ростом та пізніми строками дозрівання. Частота їх варіювала в широких межах і складала для сорту Альбатрос одеський 0,40-2,49 %, 0,20-0,57 %, 0,39-0,96 % і 0,38-0,77 % та для сорту Зимоярка 0,19-1,55 %, 0,52-1,25 %, 0,19-1,55 % і 0,40-1,05 %, відповідно (табл. 4). Найбільша кількість типів мутацій викликана умовами зростання рослин пшениці сорту Альбатрос одеський на території хімсховища с. Джурин (15 мутантних типів) та сорту Зимоярка – яблуневий сад м. Мелітополь (14 мутантних типів). Широким спектром мутаційних змін характеризуються рослини сорту Зимоярка, які зазнали хронічного впливу забруднень ґрунту вапнякового кар'єру «Алтестове» (10 мутантних типів) і санітарної зони сховища біля станції «Затишшя» (12

мутантних типів). Кількість типів мутацій, індукованих умовами зростання пшениці в санітарній зоні сховища с. Джурин (5 мутантних типів), перебуває на рівні контролю. Окремі мутації виявлено з частотою, що суттєво перевищують контрольні показники. Так, забруднення ґрунту території сховища с. Джурин індукують в рослин сорту Альбатрос одеський 0,96 % форм з скверхедним колосом, 1,15 % – з відсутністю воскової поволоки. Індукування мутації нещільний колос у рослин сорту Зимоярка з частотою 0,99 %, що статистично вірогідно перевищує контроль, спричинене забрудненнями ґрунтів ДДТ вапнякового кар'єру «Алтестове». Серед типів мутацій виявлено типові, які виникають з порівняно невисокою частотою, але характеризують реакцію геному пшениці на дію хімічного забруднення ґрунту. До них належать середньоранні форми, довгий, щільний, нещільний (рис. 3), циліндричний, скверхедний (рис. 4), напівостистий, безостистий колос. Серед мутацій виявлено такі, що зустрічаються досить рідко, а то й поодинокі: крупний колос, антоціанові, пом'яті ості (рис. 4), вузький, еректоїдний лист, ранньостиглі форми.

Увагу привертають мутації, пов'язані із зменшенням довжини стебла, зокрема напівкарликові і карликові форми. Вони є дуже рідкісними при спонтанному мутагенезі та, за попередніми дослідженнями академіка НАН України В.В. Моргуна (2010), виявилися типовими за умов радіонуклідного забруднення в результаті аварії на ЧАЕС. Аналізуючи спектр типів мутацій, індукованих забрудненням ґрунту сховищ встановлено, що поява карликових мутантів з частотою 0,39 % у сорту Альбатрос одеський та напівкарликових мутантів з частотою 0,25 % у сорту Зимоярка пов'язано із вирощуванням озимої пшениці в умовах забруднень території яблуневого саду м. Мелітополь. Таким чином, поява зазначених мутацій може використовуватись як біоіндикатор забруднення ґрунту хлорорганічними пестицидами.

Таблиця 4

Спектр видимих мутацій озимої пшениці (M<sub>2</sub>-M<sub>3</sub>), вирощеної в умовах забруднення ґрунту пестицидами

Варіант впливу	Типи мутацій, %																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Альбатрос одеський																						
сmt Глеваха (контроль)	0,40	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,40	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сховище, с. Джурин	2,49*	0,57	0,00	0,00	0,96*	0,19	0,57	0,38	0,38	0,77	0,00	0,00	0,00	0,38	0,96*	0,38	0,57	0,00	0,19	0,00	0,19	1,15*
сmt Глеваха (контроль)	0,61	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Яблуневий сад, м. Мелітополь	1,16	0,39	0,00	0,39	0,39	0,00	0,00	0,77	0,39	0,00	0,00	0,39	0,39	0,39	0,77	0,39	0,77	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00
Зимоярка																						
сmt Глеваха (контроль)	0,19	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,19	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Яблуневий сад, м. Мелітополь	1,25	1,25	0,25	0,00	0,50	0,00	0,00	1,00*	0,00	0,25	0,25	0,50	0,50	0,25	0,25	0,00	1,00	0,00	0,00	0,25	0,00	0,25
Вапняковий кар'єр «Алтестове»	0,99	0,80*	0,00	0,00	0,80	0,20	0,99	0,40	0,60	0,00	0,00	0,40	0,99*	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Санітарна зона сховища, с. Джурин	1,55	0,52	0,00	0,00	1,55	0,00	1,03	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Санітарна зона сховища біля ст. «Затишшя»	0,70	1,05	0,00	0,00	0,70	0,70	0,35	1,05	0,35	0,35	0,00	0,70	1,05	0,70	0,00	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

\* - різниця відносно контролю статистично вірогідна за  $P \leq 0,05$



Рис. 3. Мутації за морфологією колоса сорту Зимоярка:

1 – вихідна форма; 2 – напівостистий колос; 3 – нещільний колос; 4 – довгий колос; 5 – скверхедний напівостистий колос.



Рис. 4. Мутації за морфологією колоса сорту Альбатрос одеський:

1 – вихідна форма; 2 – скверхедний колос; 3 – скверхедний напівостистий колос; 4 – скверхедний безостий колос; 5 – короткий колос, пом'яті ості.

Серед родин  $M_2$  виявлено такі, що включають рослини з комплексними мутаціями, або ж групу рослин з мутаціями різних типів. Зокрема, родини сорту Альбатрос одеський вирізняються поєднанням мутацій довгий, нещільний колос; високоросла, антоціанові ості; напівостистий, щільний, циліндричний колос; пізньостигла, карлик, скверхедний колос; інтенсивний

ріст, напівостистий/безостий, скверхедний колос; інтенсивний ріст, відсутність воскової поволоки; високоросла, пом'яті ості, скверхедний колос; інтенсивний ріст, високоросла, довгий колос, відсутність воскової поволоки; високоросла, довгий колос, еректоїдний лист, пізньостигла; високоросла, ранньостигла, короткий, щільний, циліндричний колос. Серед родин сорту Зимоярка множинними мутаціями виявилися низькоросла, щільний, циліндричний колос; інтенсивний ріст, ранньостигла, високоросла, нещільний, напівостистий колос; низькоросла, нещільний, циліндричний колос; середньорання, високоросла, нещільний колос; пізньостигла, низькоросла, щільний колос; інтенсивний ріст, ранньостигла; високоросла, пізньостигла, нещільний, напівостистий колос, вузький лист; низькоросла, відсутність воскової поволоки, крупний колос; пізньостигла, напівкарлик; напівостистий, щільний, циліндричний колос; інтенсивний ріст, напівостистий, скверхедний колос.

Таким чином, забруднення ґрунту територій сховищ заборонених і непридатних до використання пестицидів здійснюють негативний цитогенетичний вплив, який проявляється у зростанні в 2,0-4,4 раза частоти аберантних клітин кореневої меристеми озимої пшениці. Серед типів аберацій, індукованих пестицидними забрудненнями, переважно зустрічаються ацентричні фрагменти й дицентричні мости хроматидного типу. Їх частка й співвідношення у загальному спектрі хромосомних перебудов визначається інтенсивністю забруднення ґрунту та варіює в залежності від генотипу рослин. Встановлено, що залишки пестицидів у ґрунтах зазначених територій здатні проявляти анеугенну дію на клітини кореневої меристеми, а зростання рівня відстаючих хромосом і мікроядер у спектрі типів цитогенетичних порушень, у порівнянні зі спонтанним, може використовуватись як біоіндикатор забруднення навколишнього середовища мутагенами хімічної природи, зокрема й генотоксичними пестицидами.

Забруднення ґрунту забороненими і непридатними до використання пестицидами у місцях їх складування чи тривалого застосування призводить

до суттєвого зростання частоти видимих мутацій озимої пшениці, що в 3,4-5,4 рази перевищує спонтанний рівень.

Спектр типів мутацій переважно включає форми високорослі, низькорослі, з інтенсивним ростом та пізніми строками дозрівання. Мутантні форми середньоранні, з довгим, щільним, нещільним, циліндричним, скверхедним, напівостистим, безостистим колосом виявилися типовими за умов забруднення ґрунту пестицидами. Індукування напівкарликових і карликових мутантів забрудненням ґрунту яблуневого саду в м. Мелітополь свідчить про можливість їх використання як біоіндикаторів у навколишньому середовищі хлорорганічних пестицидів.

Високий рівень хромосомних аберацій та видимих мутацій в озимої пшениці, виявлений за умов зростання рослин на ґрунтах санітарної зони сховищ пестицидів, вказує на неконтрольоване поширення отрутохімікатів за межі їх локального зберігання та генетичну загрозу для організмів, що мешкають на прилеглих до сховищ територіях. Зважаючи на стійку високу мутагенну активність отрутохімікатів, їх тривале зберігання у великих кількостях на обмежених ділянках, часто без дотримання правил безпеки й санітарних норм, вплив різких змін погодних умов, що спричиняє як їх розповсюдження, так і хімічну взаємодію, необхідно розробити заходи щодо уникнення потрапляння зазначених токсикантів до харчової продукції аграрного виробництва та включити до державної програми екологічного моніторингу низку заходів із вивчення мутагенної активності забруднень усіх життєзабезпечуючих природних середовищ як у межах існуючих і ліквідованих сховищ заборонених і непридатних до використання пестицидів, так і прилеглих до них територій.

1. *Беккер А.А., Агаев Т.Б.* Охрана и контроль загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 286 с.

2. *Биттуева М.М., Абилев С.К., Тарасов В.А.* Эффективность прогноза канцерогенной активности химических соединений при учете

соматических мутаций у сои *Glycine max* (L.) Merrill // Генетика. – 2007. – **43**, № 1. – С. 78-87.

3. *Боднар Л.С., Мацях А.В., Беляев В.В.* Моніторинг генотоксикологічного забруднення деяких чинників навколишнього середовища // Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть. – К.: Логос, 2001. – С. 219-225.

4. *Ваикулат М.П.* Гігієнічні основи охорони навколишнього середовища і здоров'я населення в умовах сумісного використання пестицидів і органо-мінеральних добрив у сільському господарстві. Автореф. дис. ... докт. мед. наук. – К., 1999. – 34 с.

5. *Гарипова Р.Ф.* Нестохастическая наследуемая клеточная летальность в практике биотестирования техногенных загрязнений как индукторов эффектов последствия // Генетика. – 2007. – Т. 43, № 3. – С. 337-342.

6. *Дехтяренко О.М., Пилипенко Л.А., Ісаєнко В.М.* Визначення впливу хлорорганічних пестицидів на ґрунтові екосистеми // Агроєкологічний журнал. – 2007. – № 2. – С. 57-61.

7. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). – М.: Колос, 1965. – 423 с.

8. *Евсеева Т.И., Майстренко Т.А., Гераськин С.А. и др.* Оценка радиационного воздействия на ценопопуляции горошка мышиного с территории, загрязненной отходами радиевого производства // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2008. – **48**, № 4. – С. 493-501.

9. *Ибрагимова Э.Э.* Исследование совместного действия остаточных количеств пестицидов и тяжелых металлов на частоту мутирования клеток корневой меристемы *Allium cepa* L. // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2014. – Т. 26, № 3. – С. 31-42.



10. *Клименко М.О., Прищепя А.М., Вознюк Н.М.* Моніторинг довкілля: підручник. – К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 360 с.
11. *Ковалева О.А.* Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих // *Цитология и генетика.* – 2008. – **42**, № 1. – С. 58-72.
12. *Ковалева В.И., Багацкая Н.В.* Цитогенетические эффекты в лимфоцитах периферической крови детей участников ликвидации Чернобыльской аварии под воздействием митомицина *C in vitro* и фолиевой кислоты *in vivo* // *Цитология и генетика.* – 2013. – **47**, № 1. – С. 68-73.
13. *Когутницький В.В.* Гігієнічна оцінка екологічного середовища сільських районів Донецької області та його вплив на онкологічну захворюваність населення. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Донецьк, 2005. – 21 с.
14. *Куцоконь Н.К., Безруков В.Ф., Лазаренко Л.М. та ін.* Кількість аберацій на аберантну клітину як параметр хромосомної нестабільності. 1. Характеристика дозових залежностей // *Цитология и генетика.* – 2003. – **37**, № 4. – С. 20-25.
15. *Куцоконь Н.К., Лазаренко Л.М., Безруков В.Ф. та ін.* Кількість аберацій на клітину як параметр хромосомної нестабільності. 2. Порівняльний аналіз впливу факторів різної природи // *Цитология и генетика.* – 2004. – **38**, № 1. – С. 55-62.
16. *Майстренко В.Н.* Суперэкоотоксиканты: миф или реальность // *Химическая экология: школа-семинар (Уфа, 1-2 ноября 2001 г.): Тез. докл.* – Уфа, 2001. – С. 118-127.
17. *Мамедова А.О.* Биоиндикация качества окружающей среды на основе мутационной и модификационной изменчивости растений // *Цитология и генетика.* – 2009. – **43**, № 2. – С. 61-64.
18. *Мельников Б.И., Набивач В.М., Смотраев Р.В., Кожура О.В.* Экологические аспекты диоксинового загрязнения биосферы: методы

идентификации и снижения выбросов // *Екологія та ноосферологія*. – 2008. – **19**, № 3-4. – С. 88-103.

19. *Мельникова Т.В., Полякова Л.П., Козьмин Г.В.* Химико-токсикологическая характеристика продуктов превращения хлорорганических пестицидов, образующихся при воздействии интенсивных потоков  $\gamma$ -излучения // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2003. – **43**, № 6. – С. 697-705.

20. *Моргун В.В., Логвиненко В.Ф.* Мутационная селекция пшеницы – К.: Наукова думка, 1995. – 624 с.

21. *Моргун В.В., Якимчук Р.А.* Генетичні наслідки аварії на Чорнобильській АЕС – К.: Логос, 2010. – 400 с.

22. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 році. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – 254 с.

23. *Патика В.П., Макаренко Н.А., Моклячук Л.І. та ін.* Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів. – К.: Основа, 2005. – 300 с.

24. *Паушева З.П.* Практикум по цитологии растений. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1988. — 271 с.

25. *Петрук Р.В., Петрук В.Г., Березюк А.П.* Екологічна безпека складів і сховищ отрутохімікатів і відновлення земель навколо них // *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. – 2013. – **80**, № 3. – С. 197-202.

26. Програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної політики з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на період до 2010 року в новій редакції. – Полтава: Полтавський літератор, 2007. – 162 с.

27. Регіональна програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2012-2015 роки (Програма «Довкілля-2015»). – Полтава, 2011. – 146 с.

28. *Сердюк С.М.* Диагностика загрязнения тяжелыми металлами почвенного покрова индустриально-урбанизированных территорий // *Экологія та ноосферологія*. – 2007. – **18**, № 3-4. – С. 133-138.
29. *Тимошевский В.А., Назаренко С.А.* Интерфазная цитогенетика в оценке геномных мутаций в соматических клетках // *Генетика*. – 2005. – **41**, № 1. – С. 5-16.
30. *Туркель М.Г., Питаленко Е.И., Филатов В.Ф. и др.* Влияние промышленных агломераций на окружающую среду // *Проблеми екології*. – 2007. – № 1-2. – С. 7-15.
31. *Чеботарев А.Н.* Математическая модель описания появления мультиаберантных клеток при спонтанном мутагенезе // *Доклады РАН*. – 2000. – **371**, № 6. – С. 847-849.
32. *Черв'якова Т.Б., Васюков О.Є., Звездай В.І. та ін.* Забруднення навколишнього середовища Харківської області стійкими хлорорганічними пестицидами та оцінка їх ризику для репродуктивного здоров'я населення // *Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України (до 120-річчя з дня народження академіка О.М. Марзеєва): наук.-практ. конф., (Київ, 24-25 квітня 2003 р.): Тез. доп. – Вип. 5. – К., 2003. – С. 164.*
33. *Швидь С.Ф., Швидь Л.М., Наталочка В.О., Ткаченко С.К.* Динаміка залишкових концентрацій пестицидів у ґрунтах Полтавської області // *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. – 2010. – № 3. – С. 26-31.
34. *Шкарупа В.М., Неумержицька Л.В., Клименко С.В., Симіглазова Т.В.* Динаміка змін спектра аберацій хромосом, індукованих мітоміцином С у *Allium scera* L. // *Вісник УТГіС*. – 2011. – **9**, № 1. – С. 112-117.
35. *Шмакова Н.Л., Насонова Е.А., Красавин Е.А. и др.* Индукция хромосомных aberrаций и микроядер в лимфоцитах периферической крови человека при действии малых доз облучения // *Радиационная биология. Радиоэкология*. – 2006. – **46**, № 4. – 480-487.

36. *Bentley K.S., Kirkland D., Murphy M. et al.* Evaluation of thresholds for benomyl and carbendazim-induced aneuploidy in cultured human lymphocytes using fluorescence in situ hybridization // *Mutat. Res.* – 2000. – V. 464. – P. 41-51.
37. *Bochkov N.P., Katosova L.D.* Analysis of multiaberrant cells in lymphocytes of persons living in different ecological regions // *Mutat. Res.* – 1994. – V. 323. – P. 7-10.
38. *Duesberg P., Li R., Rasnick D. et al.* Aneuploidy precedes and segregates with chemical carcinogenesis // *Cancer Genet. Cytogenet.* – 2000. – V. 119. – P. 83-93.
39. *Lloyd D.C., Edwards A.A., Leonard A. et al.* Frequencies of chromosomal aberrations induced in human blood lymphocytes by low doses of X-rays // *Int. J. Radiat. Biol.* – 1988/ - V. 53. – P. 49-55.
40. *Morgan W.F., Corcoran J., Hartmann A. et al.* DNA doublestrand breaks, chromosomal rearrangements, and genomic instability // *Mutat. Res.* – 1998. – V. 404. – P. 125-128.
41. *Takatsuji T., Takayanagi H., Morishita K. et al.* Induction of micronuclei in germinating onion seed root tip cells irradiated with high energy heavy ions // *J. Rad. Res.* – 2010. – **51**, № 3. – P. 315-323.
42. *Tsonchev N., Hristov K.* Cytogenetic study of toxicity and mutation variability induced by chemical mutagens in seeds of *Lolium perenne* L., *Agropyrum cristatum* L. and *Medicago sativa* L. // *Физиология и биохимия культурных растений.* – 2007. – **39**, № 1. – С. 28-41.
43. <http://readbookz.com/book/212/8096.html>

МУТАГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОЧВЫ  
ЗАПРЕЩЕННЫМИ И НЕПРИГОДНЫМИ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ  
ПЕСТИЦИДАМИ

*Р.А. Якимчук*

*Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук  
Украины, Киев*

Исследовано влияние загрязнений почвы пестицидами на частоту хромосомных aberrаций и видимых мутаций в озимой пшеницы. Выявлено возрастание частоты aberrантных клеток в 2,0-4,4 раза и видимых мутаций в 3,4-5,4 раза. Среди типов aberrаций, индуцированных пестицидными загрязнениями, преимущественно встречаются ацентрические фрагменты и дицентрические мосты хроматидного типа. Установлено, что остатки пестицидов в почве способны проявлять анеугенное действие на клетки корневой меристемы, а возрастание уровня отстающих хромосом и микроядер в спектре типов цитогенетических нарушений по сравнению со спонтанным, может использоваться как биоиндикатор загрязнения окружающей среды мутагенами химической природы, в частности и генотоксическими пестицидами. Мутантные формы среднеранние, с длинным, плотным, неплотным, цилиндрическим, скверхедным, полуостистым, безостым колосом оказались типичными в условиях загрязнения почвы пестицидами.

*Ключевые слова:* *Triticum aestivum* L., загрязнение пестицидами, хромосомные aberrации, цитогенетические нарушения, мутагенная активность, генетические последствия.

MUTAGENIC ACTIVITY OF THE SOIL CONTAMINATED WITH THE  
PESTICIDES WHICH ARE FORBIDDEN OR UNSUITABLE FOR USE

*R.A. Yakymchuk*

*Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine*

*31/17 Vasylykivska St., Ryiv, 03022, Ukraine*

The effect of the pesticide contaminated soil on the frequency of chromosome aberrations and visible mutations in winter wheat was studied. The frequency increase of aberrant cells by 2.0-4.4 times and that of visible mutations by 3.4-5.4 times were recorded. Among the kinds of aberrations, induced by pesticide contamination, acentric fragments and dicentric bridges of a chromosome type occur most frequently. It has been established that pesticide remains in the soil can show aneugenic effect on root meristem cells, and the level increase of slow chromosomes and micronuclei in the spectrum of the types of cytogenetic disorders compared with spontaneous ones can be used as a bio-indicator of the environmental contamination with mutagens of chemical nature, including gene toxic pesticides. Mutative average-early forms with a long, thick, thin, cylindrical, square-head, half-awned, awnless ear appeared to be typical in the conditions of the pesticide contaminated soil.

*Key words:* *Triticum aestivum L.*, pesticide contamination, chromosome aberrations, cytogenetic disorders, mutagenic activity, genetic effects.