

УДК 575.224.4:504.5

МУТАГЕННА АКТИВНІСТЬ ЗАБРУДНЕНЬ ҐРУНТУ ТЕРИТОРІЙ СХОВИЩ ЗАБОРОНЕНИХ І НЕПРИДАТНИХ ДО ВИКОРИСТАННЯ ПЕСТИЦИДІВ

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 територій сховищ заборонених і непридатних до використання пестицидів на частоту хромосомних мутацій у клітинах кореневої меристеми озимої пшениці. Виявлено зростання частоти абераційних клітин у 2,0—4,4 рази. Серед типів аберацій, індукованих пестицидними забрудненнями, переважають ацентричні фрагменти й дицентричні мости хроматидного типу. Встановлено, що рештки пестицидів у ґрунті здатні чинити анеугенну дію на клітини кореневої меристеми, а зростання рівня відстаючих хромосом і мікроядер у спектрі типів цитогенетичних порушень порівняно зі спонтанним можна використовувати як біоіндикатор забруднення навколишнього середовища мутагенами хімічної природи, зокрема й генотоксичними пестицидами.

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

Інтенсивна діяльність людства на сучасному етапі розвитку науки, технологій і техніки призвела до появи в об'єктах навколишнього середовища величезних мас хімічних речовин, які різною мірою біологічно активні та спричиняють численні екологічні зміни. Внаслідок їх впливу порушується природний хімічний склад ґрунту, що пов'язано з проникненням нехарактерних для нього речовин або підвищенням концентрацій природних речовин до понаднормованих значень [10]. Для сільськогосподарських районів найхарактернішими антропогенними забруднювачами ґрунтів є пестициди й мінеральні добрива, адже щорічні надходження їх на поля України перевищують відповідно 90 тис. т і 4,5 млн т. Зі 170 найменувань пестицидів, які використовують в Україні, 49 є особливо небезпечними [13, 43], оскільки 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 засобами, що заборонені для використання з 1988 р, а в 2001 р., 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 у 1986 рю гігієнічні й агрохімічні рекомендації територіального навантаження пестицидів перевищені в цілому по Україні в 22 із 25 областей, що становить 88 %

сільськогосподарських угідь її території [4]. Особливо небезпечними для навколишнього середовища є також території сховищ, де зберігаються чи зберігалися заборонені й непридатні до використання пестициди. В агропромисловому комплексі України таких об'єктів понад 4000, вони вміщують 19 342 т отрутохімікатів [6]. Більшість сховищ побудовано понад 40 років тому, не відповідає сучасним санітарним нормам, переважно безгоспні чи зруйновані [30]. Ситуація, що склалася в Україні у сфері поводження з пестицидами через надмірне їх накопичення, сягнула критичної межі і потребує термінового вирішення [23], а проблема наслідків забруднення ними навколишнього середовища залишається актуальною і пріоритетною [30]. Більшість досліджень зводиться в основному до моніторингу і визначення концентрації пестицидів у ґрунті, воді, продуктах харчування [3, 25, 33]. Оскільки хлорорганічні пестициди мають надкумулятивну активність (період напіввиведення з організму 5–15 років) та, як наслідок, здатні змінювати імунологічний статус живих організмів, виявляють мутагенну й тератогенну дію [16], слід приділяти особливу увагу їх токсикологічній небезпеці на генетичному рівні [32]. 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, виявляються відразу і їх можна ефективно реєструвати за допомогою контактних чи дистанційних методів, то зміни на клітинному й молекулярному рівнях, а також спричинені пошкодженням генетичних структур виявляються значно пізніше, іноді в наступних поколіннях [17]. Це порушує питання щодо доцільності проведення моніторингових досліджень територій розміщення сховищ, непридатних пестицидів, щоб адекватно оцінити генетичні ризики для живих організмів, у тому числі й людини. Розроблена на сьогодні система еколого-генетичного моніторингу включає дослідження з біоіндикації мутагенів у різних об'єктах довкілля за допомогою цитогенетичного аналізу [3]. Для цієї мети моніторингу забруднення навколишнього середовища потенційно небезпечними в генетичному відношенні сполуками найзручнішими є рослинні тест-системи [2].

Метою наших досліджень було вивчення за допомогою цитогенетичного аналізу меристематичних клітин первинних корінців проростків озимої пшениці мутагенної активності хімічних забруднень ґрунту територій сховищ заборонених і непридатних для використання пестицидів.

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 пророщували у зразках ґрунту, відібраних 2014 р. 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 (1/10 частина всіх непридатних отрутохімікатів України); с. Демівка Чечельницького р-ну Вінницької обл., де зберігалось 200 т пестицидів і отрутохімікатів; за 5 км від станції Затишшя Ширяївського р-ну Одеської обл., де зберігалось 250 т отрутохімікатів, які вибухнули після перезатарювання; с. Ново-

горівка Токмацького р-ну Запорізької обл., де зберігалось 120 т непридатних пестицидів [22]. Зважаючи на те, що територія Полтавської обл. належить до умовно чистих регіонів України, бо її ґрунти не зазнали істотного радіонуклідного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, не містять решток хлорорганічних і фосфорорганічних пестицидів, а 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.

Проби ґрунту відбирали на територіях сховищ пестицидів і в межах санітарної зони відповідно до стандартних методик [1]. Концентрації отрутохімікатів у зразках ґрунту визначали в Українській лабораторії якості і безпеки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування (табл. 1).

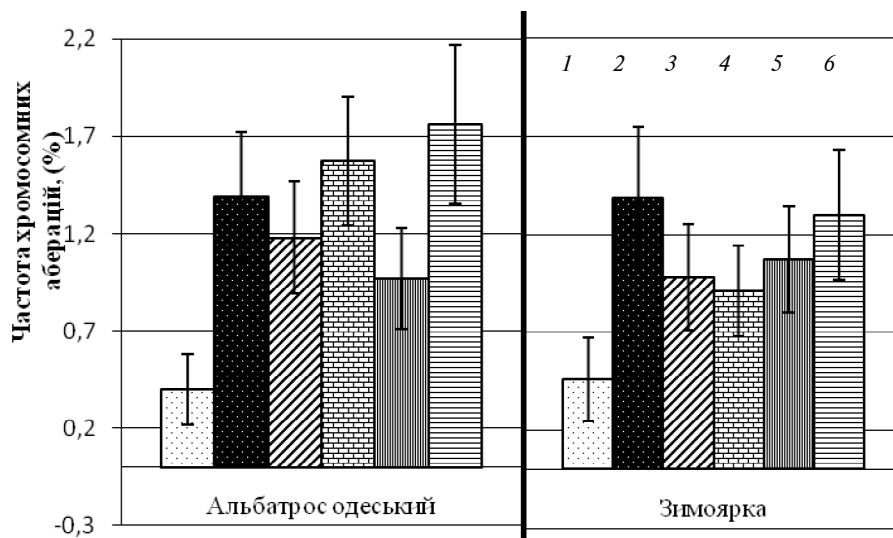
ТАБЛИЦЯ 1. Концентрації пестицидів у досліджених пробах ґрунту

Хімічна сполука	ГДК, мг/кг ґрунту	Місцезнаходження сховища			
		с.Джурин	ст. «За-тишшя»	с. Демівка	с. Ново-горівка
Вміст пестицидів, мг/кг					
ГХЦГ-α	0,1	—	0,22	0,04	6,68
ГХЦГ-β	0,1	—	6,20	0,04	15,57
ГХЦГ-γ	0,1	—	1,39	—	3,43
ГХЦГ-δ	0,1	—	0,60	—	7,61
ГХЦГ-ε	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
Σ4,4'-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

Насіння пшениці пророщували за температури 24–26 °С в чашках Петрі у зволожених дистильованою водою зразках ґрунту з досліджуваних ділянок. Первинні корінці завдовжки 0,8–1,0 см фіксували протягом 1,5 год в оцтовому алкоголі та в подальшому піддавали мацерації дією в 1 н розчину соляної кислоти. З апікальної меристеми коренів, забарвлених ацетоорсеїном, виготовляли тимчасові давлені препарати [24]. Частоту хромосомних порушень визначали за співвідношеннями кількостей аберантних клітин до загальної кількості клітин на стадіях анафази та ранньої телофази. Вибірка становила не менш як 1000 клітин для кожного варіанта. Експериментальні дані оброблено статистично за загальноприйнятими методами [7], вірогідність різниці оцінено за критерієм Стьюдента. У таблицях наведено середньоарифметичні дані та їх стандартні похибки.

Результати та обговорення

Цитогенетичним аналізом меристематичних клітин первинних корінців озимої пшениці встановлено, що забруднення ґрунту з територій розміщення сховищ пестицидів виявляють високу мутагенну активність, що підвищує рівень аберантних клітин у 2,0–4,4 раза (табл. 2). Наслідком забруднення ґрунту територій сховищ, розміщених у селах Джурин і Новогорівка, є вірогідне зростання хромосомних аберацій та аномалій мітозу в меристематичних клітинах насіння озимої м'якої пшениці обох досліджених сортів. Рівні хромосомних мутацій становлять відповідно $1,39 \pm 0,33$, $1,76 \pm 0,41$ % для сорту Альбатрос одеський і $1,39 \pm 0,36$, $1,30 \pm 0,33$ % для сорту Зимоярка та перевищують контрольні показники відповідно в 3,5 і 4,4 раза та в 3,0 і 2,8 раза (рис. 1). Інтенсивну мутагенну дію хімічних забруднень ґрунту з території зруйнованого сховища с. Демівка та сховища поблизу ст. «Затишшя» підтвердило статистично вірогідне зростання рівня аберантних клітин у насінні пше-



Сітку та рамку на рис. зняти! Біля кожної верхньої цифри дати квадратик з відповідним штрихуванням. Півжирну лінію, що розділяє сорти, зняти. Відстань між позиціями сортів повинна становити 0,5 см. Поділки на осях дати всередину. Заголовок осі ординат дати в один рядок світлим шрифтом, дужки біля % зняти, між комою і % один пробіл.

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

1 – с. Сватки (контроль); 2 – с. Джурин; 3 – ст. «Затишшя»; 4 – с. Демівка; 5 – с. Демівка (санітарна зона); 6 – с. Новогорівка

ТАБЛИЦЯ 2. Частота і спектр хромосомних аберацій в озимій пшениці за дії забруднень ґрунтів із території розміщення сховищ пестицидів

Місце відбирання зразка	Вивчено, шт.		Мітози з порушеннями і хромосомними аберациями		Спектр порушень мітозу та хромосомних аберацій													
	коре-нів	шт.	ана-телофаз	шт.	%	Фрагменти		Мости		Мости+фраг-менти		Мікроядра		Відстаючі хромосоми		Інші порушення		
						шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	
Альбагрос одеський																		
с. Сватки (контроль)	21	1257	7	0,40±0,18	3	0,24	2	0,16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
с. Джурин	18	1227	17	1,39±0,33*	6	0,49	6	0,49	0	0	0	0	0	4	0,33*	1	0,08	0
ст. «Запишля»	12	1437	17	1,18±0,29*	7	0,49	9	0,62	0	0	1	0,07	0	0	0	0	0	0
с. Демівка	15	1463	23	1,57±0,33*	16	1,09*	3	0,20	1	0,07	2	0,14	1	0,07	1	0,07	0	0
с. Демівка (санітарна зона)	15	1443	14	0,97±0,26	5	0,35	7	0,48	0	0	0	0	0	2	0,14	0	0	0
с. Новогорівка	24	1021	18	1,76±0,41*	12	1,17*	3	0,29	0	0	1	0,10	1	0,10	1	0,10	1	0,10
Зимоярка																		
с. Сватки (контроль)	21	1083	5	0,46±0,21	3	0,28	0	0,00	0	0	0	0	0	2	0,18	0	0	0
с. Джурин	24	1078	15	1,39±0,36*	4	0,37	10	0,93*	1	0,09	0	0	0	0	0	0	0	0
ст. «Запишля»	15	1330	13	0,98±0,27	11	0,82	1	0,08	1	0,08	0	0	0	0	0	0	0	0
с. Демівка	15	1647	15	0,91±0,23	10	0,61	2	0,12	0	0	0	0	0	3	0,18	0	0	0
с. Демівка (санітарна зона)	12	1408	15	1,07±0,27	5	0,36	8	0,57*	0	0	1	0,07	1	0,07	1	0,07	0	0
с. Новогорівка	21	1149	15	1,30±0,33*	11	0,96*	2	0,17	0	0	0	0	0	2	0,17	0	0	0

*Різниця відносно контролю статистично вірогідна за $P \leq 0,95$.

ниці сорту Альбатрос одеський. Частота ана-телофаз із хромосомними перебудовами становила відповідно $1,57 \pm 0,33$ та $1,18 \pm 0,29$ %, що в 3,9 і 3,0 рази перевищує контрольний рівень. Статистично вірогідного збільшення частоти хромосомних мутацій у клітинах меристеми корінців проростків пшениці сорту Зимоярка за дії забруднень ґрунту з території сховищ с. Демівка та ст. «Затишшя» не виявлено, проте концентрація суміші отрутохімікатів, якими просяк ґрунт, була такою, що рівень спонтанних аберацій подвоювався і становив 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 пряму залежність між збільшенням територіального навантаження хімічних засобів захисту рослин у ґрунтах та зростанням залишкових кількостей пестицидів у суміжних із ними середовищах [4, 28], було вивчено цитогенетичну активність хімічних компонентів ґрунту санітарної зони сховища в с. Демівка. Встановлено, що частота клітин із хромосомними перебудовами, які індуковані залишками сумішей пестицидів у ґрунті прилеглої до сховища території, становить $0,97 \pm 0,26$ % для сорту Альбатрос одеський та $1,07 \pm 0,27$ % для сорту Зимоярка, що більш як удвічі перевищує контрольні показники.

Поширення токсичних речовин на десятки кілометрів, посилення їх мутагенної активності пришвидшує низка некерованих хімічних реакцій, наслідки яких спрогнозувати заздалегідь неможливо [3, 30]. Так, серед сполук, що містились у зразках ґрунту з територій сховищ поблизу ст. «Затишшя» та сіл Демівка і Новогорівка виявлено низку ізомерів гексахлорциклогексану (ГХЦГ), частина з яких стабільні. На сьогодні відомо, що α - і γ -ГХЦГ є онкогенами для теплокровних тварин. β -Ізомер найменш токсичний серед усіх ізомерів ГХЦГ, однак здатний спричинювати хронічну інтоксикацію. Серед продуктів розпаду дихлордифенілтрихлорметилменану (ДДТ), виявлених у зразках ґрунтів усіх обстежених об'єктів, найнебезпечніші дихлордифенілетилен (ДДЕ) і дихлордифенілдихлоретан (ДДД). За показниками токсичності ДДТ, ДДЕ і ДДД близькі (I клас небезпеки), однак метаболіт ДДЕ стабільніший, ніж ДДТ. Особливістю ДДД є його висока хронічна токсичність. Варто також зазначити, що ДДТ та його метаболіти негативно впливають на репродуктивну систему [19].

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

Під час аналізу частоти аберацій клітин одночасно слід приділяти увагу вивченню типів хромосомних аберацій та їх співвідношення. Така інформація дасть повніше уявлення про характер цитогенетичних пошкоджень і допоможе встановити залежності частоти аберацій від дози та умов індукованого мутагенезу. Серед типів аберацій, індукованих забрудненнями ґрунту, переважно трапляються ацентричні фрагменти й дицентричні мости хроматидного типу, рівень яких істотно перевищує контрольні показники. Їх частка і співвідношення у загальному спектрі хромосомних перебудов визначаються інтенсивністю забруднення ґрун-

ту і варіюють залежно від генотипу рослин. Висока частота цитогенетичних порушень мітозів за дії сумішей пестицидів ґрунту з територій сховищ у селах Новогорівка і Демівка у проростках обох досліджуваних сортів обумовлена істотним зростанням рівня поодиноких ацентричних фрагментів. Такий самий тип хромосомних аберацій меристематичних клітин проростків сорту Зимоярка домінував і за впливу політантів ґрунту сховищ біля ст. «Затишшя». Відсоток ацентричних мостів хроматидного типу в клітинах кореневої меристеми проростків пшениці сорту Зимоярка у спектрі типів хромосомних аберацій виявився найвищим за дії отрутохімікатів сховищ у с. Джурин та санітарної зони сховища в с. Демівка. Діцентричні мости й ацентричні фрагменти, індуковані в меристематичних клітинах корінців проростків пшениці сорту Альбатрос одеський забрудненнями ґрунту сховища в с. Джурин і санітарної зони сховища в с. Демівка, виявлялись приблизно з однаковою частотою. В дослідженнях В.В. Моргуна і В.Ф. Логвиненко [20] з вивчення впливу 2,4-дихлорфеноксіоцтової кислоти на вегетуючі рослини озимої пшениці також зазначено, що гербіцид та його похідні індукують однакові зі спонтанним типом порушень хромосом, серед яких значну частку становлять ацентричні фрагменти [20]. Зростання кількості клітин із фрагментацією хромосом за сумісної дії залишкових кількостей пестицидів і важких металів на клітини кореневої меристеми цибулі (*Allium cepa* L.) пов'язують з підвищенням концентрації решток токсичних речовин у ґрунті [9], а така аномалія як мости, найчастіше виявлялась за помірного забруднення територій. Результати, отримані під час вивчення мутагенної активності різних хімічних супермутагенів за низьких і високих концентрацій на озимій пшениці продемонстрували домінування поодиноких мостів та ацентричних фрагментів, причому відносна частота хроматидних мостів була більшою [21]. Такі ж дані дали дослідники 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 істотно звужує уявлення про мутагенні властивості досліджуваних чинників. В результаті з поля зору випадає цілий клас геномних мутацій, які мають не менше, а можливо й значно більше значення у формуванні віддалених генетичних наслідків. Встановлено, що рештки пестицидів у ґрунтах досліджених територій здатні чинити анеугенну дію на клітини кореневої меристеми рослин сорту Альбатрос одеський, наслідком чого є істотне зростання у загальному спектрі типів цитогенетичних порушень частки клітин із відстаючими хромосомами. Індукувати геномні мутації за відсутності вираженого кластогенного ефекту здатні також і циклічні вуглеводні, що мають чітко виражені канцерогенні властивості [38]. Рівень анеугенних клітин проростків пшениці сорту Зимоярка за дії забруднень ґрунту з територій сховищ не відрізнявся від контрольного й вірогідно не впливав на зростання загальної частоти хромосомних аберацій та ядерних аномалій. На думку Бентлі [36], вплив анеугенів виявляється як «багатоударний» механізм, тобто вони частіше справляють ефект не через прямий вплив на хромосому, а через взаємодії з багатьма мішенями хромосом, що прямо чи опосередковано контролюють сегрегацію. Наслідком є відсутність видимого ефекту за концентрації агента нижчої від порогової. Перевищення порогу призводить до нелінійного наростання частоти кількісних хромосомних порушень зі збільшенням концентрації анеугена [29, 36].

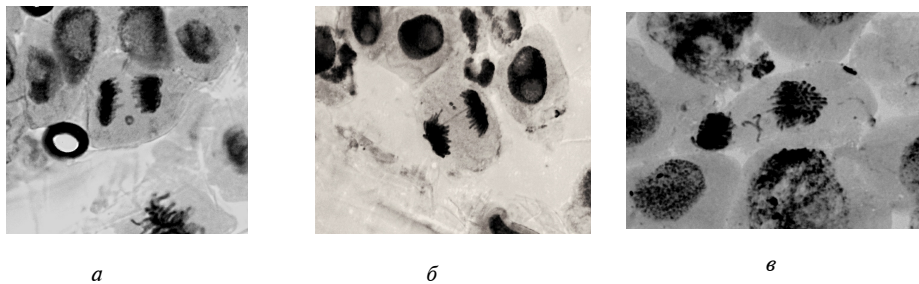


Рис. 2. Хромосомні аберації та аномалії мітозу в клітинах кореневої меристеми озимої пшениці:

a — ацентрична кільцева хромосома; *b* — парні фрагменти і хроматидний міст; *c* — парні відстаючі хромосоми

Найбільшу кількість типів цитогенетичних порушень у кореневій меристемі проростків пшениці виявлено за впливу токсикантів із ґрунту сховищ у селах Джурин, Демівка і Новогорівка. Спектр їх розширювався внаслідок формування мультиполярних мітозів і клітин з мікроядрами та кільцевими ацентричними хромосомами (рис. 2, *a*). Оскільки за хімічного мутагенезу мікроядра у 60–80 % випадків містять цілі хроматиди чи хромосоми [35], їх поява у меристематичних клітинах може в черговий раз підтверджувати здатність пестицидів ґрунту з територій сховищ блокувати веретено поділу й спричинювати відставання хромосом. За результатами досліджень деяких авторів [12, 41] встановлено, що клітини з мікроядрами й патологіями поділу характеризуються зниженою життєздатністю, а збільшення їх кількості, як правило, призводить до пригнічення мітотичної активності. Виявлений тип порушень хромосомного апарату дуже рідко трапляється в популяціях, не обтяжених дією мутагенних чинників [11]. Тому частота відстаючих хромосом і мікроядер у спектрі типів цитогенетичних порушень може слугувати біоіндикатором забруднення навколишнього середовища мутагенами хімічної природи, зокрема й генотоксичними пестицидами.

Показником мутагенної активності екоотоксикантів може бути також частота клітин із множинними абераціями. Водночас 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 вірогідно не відрізняється [8, 34]. На думку вчених, аналіз типу поклітинного розподілу кількості аберацій може дати важливу інформацію, щодо механізмів взаємодії мутагена з ядерним матеріалом. Геометричний і від'ємний біномний розподіл вважають характернішими за дії мутагенів хімічної природи: в першому випадку акт взаємодії з ДНК є одностадійним процесом, у другому — дво- чи багатадійним. Разом з тим поклітинний розподіл аберацій може не виявляти чіткої специфіки й не відповідати жодному із зазначених теоретичних розподілів [8, 14, 15].

Серед клітин із множинними цитогенетичними порушеннями (мультиабераантні клітини), індукованими пестицидними забрудненнями ґрунту з території сховищ у селах Демівка, Джурин і поблизу ст. «Затишшя», виявлено такі, що включають парні, потрійні фрагменти, ацентрич-

ний фрагмент, дицентричний хроматидний міст, парні ацентричні фрагменти і дицентричний хроматидний (див. рис. 2, б) чи хромосомний міст, парні мікроядра, парні відстаючі хромосоми (див. рис. 2, в). Проте закономірностей щодо дозозалежного збільшення частоти мультиаберагантних клітин не виявлено, що деякі дослідники пояснюють недостатнім мутагенним навантаженням на меристематичні клітини [34].

Хоча феномен мультиаберагантних клітин відомий давно, досі немає загальноприйнятих критеріїв для їх визначення. Крім того, не існує єдиної думки й про причини їх виникнення. Як мультиаберагантні розглядають клітини, що містять більш як одну дицентричну чи кільцеву хромосому [39], тоді як на думку Бочкова і Катасової [37] мультиаберагантними є клітини з трьома і більше порушеннями хромосом.

Чеботарьов [31] на основі математичного моделювання виникнення мультиаберагантних клітин за спонтанного мутагенезу запропонував двопопуляційну математичну модель їх появи, яка задовільно описує розподіл клітин за кількістю аберацій. Відповідно до цієї моделі, в основній популяції клітин, що становить близько 95 %, мутагенез відбувається за рахунок випадкового впливу зовнішніх чинників, а в міно́рній популяції клітин (~ 5 %) у результаті пошкодження генів репарації та реплікації ДНК запускаються процеси, що індукують утворення численних хромосомних аберацій [31].

Отже, забруднення ґрунту з територій сховищ заборонених і непридатних для використання пестицидів чинять негативний цитогенетичний вплив, який виявляється у зростанні в 2,0—4,4 рази частоти аберагантних клітин кореневої меристеми озимої пшениці. Високий рівень хромосомних мутацій в озимої пшениці, виявлений за пророщування насіння в ґрунті, відібраному 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. Серед типів аберацій, індукованих пестицидними забрудненнями, переважно трапляються ацентричні фрагменти й дицентричні мости хроматидного типу. Їх частка та співвідношення в загальному спектрі хромосомних перебудов визначаються інтенсивністю забруднення ґрунту і змінюються залежно від генотипу рослин. Встановлено, що рештки пестицидів у ґрунтах досліджених територій здатні чинити анеугенну дію на клітини кореневої меристеми, а зростання рівня відстаючих хромосом і мікроядер у спектрі типів цитогенетичних порушень порівняно зі спонтанним можна використовувати як біоіндикатор забруднення навколишнього середовища мутагенами хімічної природи, зокрема генотоксичними пестицидами.

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 спричинює як їх поширення, так і хімічну взаємодію, необхідно розробити запобіжні заходи, які б унеможливили потрапляння зазначених токсикантів до харчової продукції аграрного виробництва, а також включити до державної програми екологічного моніторингу низку заходів із вивчення мутагенної активності забруднень усіх життєзабезпечувальних природних середовищ як у межах існуючих і ліквідованих сховищ заборонених і непридатних для використання пестицидів, так і прилеглих до них територій.

1. *Беккер А.А., Агаев Т.Б.* Охрана и контроль загрязнений природной среды. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 286 с.
2. *Биттуева М.М., Абилов 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. *Бондар Л.С., Мацяк 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. *Вашкулат 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 ... д-ра 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. — **43**, № 3. — С. 337—342.
6. *Дехтяренко О.М., Пилипенко Л.А., Ісаєнко В.М.* Визначення впливу хлорорганічних пестицидів на ґрунтові екосистеми // Агрокол. журн. — 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 радиового производства // Радиационная биология. — Радиоэкология. — 2008. — **48**, № 4. — С. 493—501.
9. *Ібрагімова Э.Э.* Исследование совместного действия остаточных количеств пестицидов и тяжелых металлов на частоту мутирования клеток корневой меристемы *Allium cepa* L. // Уч. зап. Таврич. нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. Биология, химия. — 2014. — **26**, № 3. — С. 31—42.
10. *Клименко М.О., Прищета А.М., Вознюк Н.М.* Моніторинг довкілля. — К.: Видавничий центр «Академія», 2006. — 360 с.
11. *Ковалева В.И., Багацкая Н.В.* Цитогенетические эффекты в лимфоцитах периферической крови детей участников ликвидации последствий Чернобыльской аварии под воздействием митомицина *C in vitro* и фолиевой кислоты *in vivo* // Цитология и генетика. — 2013. — **47**, № 1. — С. 68—73.
12. *Ковалева О.А.* Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих // Там же. — 2008. — **42**, № 1. — С. 58—72.
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 // Там само. — 2004. — **38**, № 1. — С. 55—62.
16. *Майстренко В.Н.* Суперэкоксиканты: миф или реальность // Химическая экология: школа-семинар (Уфа, 1—2 ноября 2001): 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. *Мельникова Б.И., Набивач В.М., Смотрев Р.В., Кожура О.В.* Экологические аспекты диоксинового загрязнения биосферы: методы идентификации и снижения выбросов // Экология 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 γ -излучения // Радиационная биология. — Радиоэкология. — 2003. — **43**, № 6. — С. 697—705.
20. *Моргун В.В., Логвиненко В.Ф.* Мутационная селекция пшеницы. — Киев: Наук. 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 // Вісн. 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: Полтав. 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 // Экология та ноосферология. — 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 // Проблемы экологии. — 2007. — № 1—2. — С. 7—15.
31. Чеботарев А.Н. Математическая модель описания появления мультиабберантных клеток при спонтанном мутагенезе // Докл. РАН. — 2000. — **371**, № 6. — С. 847—849.
32. Черв'якова Т.Б., Васюков О.Є., Звездой 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. Марзєєва): Наук.-практ. конф. (Київ, 24—25 квітня 2003): 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 // Вісн. Полтав. держ. аграр. академії. — 2010. — № 3. — С. 26—31.
34. Шкарупа В.М., Неумержицька Л.В., Клименко С.В., Симиглазова Т.В. Динаміка змін спектра аберацій хромосом, індукованих мітоміцином С у *Allium cepa* L. // Вісник Укр. т-ва генетиків і — 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. — С. 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. — **464**. — P. 41—51.
37. Bochkov N.P., Katosova L.D. Analysis of multiaberrant cells in lymphocytes of persons living in different ecological regions // Ibid. — 1994. — **323**. — P. 7—10.
38. Duesberg P., Li R., Rasnick D. et al. Aneuploidy preceds and segregates with chemical carcinogenesis // Cancer Genet. Cytogenet. — 2000. — **119**. — P. 83—93.
39. Lloyg 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. — **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. — **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**, N 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 культ. растений. — 2007. — **39**, № 1. — С. 28—41.
43. <http://readbookz.com/book/212/8096.html>

Отримано 20.01.2016

МУТАГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОЧВЫ ТЕРРИТОРИЙ ХРАНИЛИЩ
ЗАПРЕЩЕННЫХ И НЕПРИГОДНЫХ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ПЕСТИЦИДОВ

Р.А. Якимчук

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Исследовано влияние загрязнений почвы территорий хранилищ запрещенных и непригодных к использованию пестицидов на частоту хромосомных мутаций в клетках корневой меристемы озимой пшеницы. Выявлено возрастание частоты aberrантных клеток в 2,0—4,4 раза. Среди типов aberrаций, индуцированных пестицидными загрязнениями, преобладают ацентрические фрагменты и дицентрические мосты хроматидного типа. Установлено, что остатки пестицидов в почве способны оказывать 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.

MUTAGENIC SOIL CONTAMINATION ACTIVITY ON THE TERRITORIES OF THE
WAREHOUSES WHERE PESTICIDE AND UNSUITABLE FOR USE ARE KEPT

R.A. Yakymchuk

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine

The soil contamination effect of the territories of the warehouses with pesticides unsuitable and forbidden for use on the frequency of chromosome mutation in root meristem cells of winter wheat was studied. The frequency increase of aberrant cells by 2.04.4 times was recorded. Among the kinds of aberrations, induced by pesticide contamination, acentric fragments and dicentric bridges of chromosome type occur most frequently. It has been established that the remains of pesticides in the soils of the mentioned territories can operate aneugenic effect on root meristem cells, and the level increase of slow chromosome 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.

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