

УДК 575.224.4:633.111

ЦИТОГЕНЕТИЧНА АКТИВНІСТЬ РАДІОНУКЛІДНИХ ЗАБРУДНЕНЬ ДОННИХ ВІДКЛАДІВ ВОДОЙМ БЛИЖНЬОЇ ЗОНИ ВІДЧУЖЕННЯ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС

Р.А. ЯКИМЧУК

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

Проведено цитогенетичний аналіз клітин кореневої меристеми пшениці *T. aestivum* L., насіння якої було пророщене на радіонуклідно забруднених субстратах донних відкладів водойм ближньої зони відчуження Чорнобильської АЕС. Встановлено, що частота хромосомних аберацій в 1,6—3,3 раза перевищувала показники спонтанного рівня, спектр їхніх типів переважно формували ацентричні фрагменти й мости. Невисока частота виявлених анеуплоїдних клітин може свідчити про наявність у донних відкладах незначних концентрацій мутагенних чинників, що впливають на апарат поділу клітини і сегрегацію хромосом. Тяжкість генетичних наслідків впливу радіонуклідних забруднень характеризує істотне зростання кількості аберацій на аберантну клітину.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., цитогенетичні порушення, хромосомні аберації, донні відклади, радіонуклідне забруднення.

Через 30 років після Чорнобильської катастрофи зона відчуження продовжує залишатись відкритим джерелом поширення радіонуклідів, що надходять з поверхневими і ґрунтовими водами в річкові системи й виносяться за її межі [8, 10]. Як результат, водойми басейнів Дніпра і Прип'яті — одні з найбільших водних систем у Європі — зосередили в собі близько 2,3 пБк ^{90}Sr і 19,6 пБк ^{137}Cs [11, 24]. Зважаючи на те що водні ресурси річок басейну Дніпра та його водосховищ використовує близько 30 млн мешканців України, до сьогодні не втрачає своєї актуальності оцінка мутагенної активності головного джерела надходження радіонуклідів до каскаду дніпровських водойм — р. Прип'ять із численними озерами й старицями її заплави, які в післяаварійний період зазнали найінтенсивнішого радіонуклідного забруднення [1, 6, 29]. На відміну від природного радіаційного фону додаткове опромінення від штучних радіонуклідів у замкнених і проточних водоймах зони відчуження, що характеризується значною неоднорідністю розподілу в просторі та часі, призводить до не прогнозовано багаторазового зростання частоти хромосомних аберацій у рослин, мікроядер у клітинах крові гідробіонтів тваринного походження, появи флуктуаційної асиметрії моллюсків, потворств і канцерогенезу риб [5, 8, 24]. У дітей Київської області в 2,1 раза підвищений рівень вроджених аномалій [15], близько 10 % усіх новонароджених мають ті чи інші генетичні дефекти [13].

За останні роки в ґрунтах Чорнобильської зони відчуження встановлено тенденцію до збільшення виходу мобільних біологічно доступних форм радіонуклідів, які з поверхневими й ґрунтовими водами потрапляють у гідрологічну мережу, де швидко включаються в біотичний кругообіг [6]. Переважна частина радіонуклідів, що потрапили у водойми, досить швидко акумулювалась донними відкладами. Зважаючи на те що переважно у верхньому шарі донних відкладів депоновано ^{90}Sr — 89—95 %, ^{137}Cs — 99 %, ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am — майже 100 % загальної кількості радіонуклідів екосистеми [7, 28], питому радіоактивність водойм і водотоків на сьогодні визначає інтенсивність їх обміну з водними масами [9]. Визначення мутагенної активності радіонуклідних забруднень донних відкладів водойм зони відчуження ЧАЕС дасть змогу встановити потенційну мутагенну небезпеку водних об'єктів, спрогнозувати масштабність генетичних наслідків неконтрольованого зниження рівня води у водоймах зони відчуження ЧАЕС, спричиненого природними кліматичними змінами та передбаченими інженерними контрзаходами з дезактивації [26]. У низці праць було показано, що одним із найчутливіших методів оцінювання генотоксичних чинників середовища є аналіз хромосомних аберацій в клітинах рослин [3, 19]. У зв'язку зі значним радіонуклідним забрудненням земель після аварії на Чорнобильській АЕС особливо актуальним стало вивчення впливу іонізуючого випромінювання на сільськогосподарські культури, зокрема на озиму пшеницю [16], у зв'язку з чим її широко використовують як рослинний тест-об'єкт.

Ми поставили за мету вивчити частоту і спектр хромосомних аберацій у клітинах кореневої меристеми *Triticum aestivum* L. за пролонгованої дії радіонуклідних забруднень донних відкладів водойм зони відчуження Чорнобильської АЕС.

Методика

Насіння двох сортів пшениці м'якої озимої (*T. aestivum* L.) Альбатрос одеський і Зимоярка пророщували протягом 40 год за температури 24—26 °С у чашках Петрі на піщаних субстратах донних відкладів, відібраних на лівому і правому берегах Прип'ятського каналу МК-6 біля мосту, у водоймі-охолоднику ЧАЕС поблизу берегової насосної станції (БНС), у відвідних каналах № 1—3 ЧАЕС, сумарна питома активність ^{137}Cs і ^{90}Sr в яких становила відповідно 23,2; 16,0; 26,7; 42,0; 45,0; 17,0 кБк/кг. За контроль було взято донні відклади з умовно чистого озера Голосіївське м. Київ. Проби донних відкладів відбирали в 2015 р. згідно зі стандартними методиками [23]. Питому активність ^{137}Cs і ^{90}Sr у донних відкладах вимірювали фахівці ДСП «Чорнобильський спецкомбінат» за допомогою γ -спектрометричного комплексу й низькофонового β -радіометра.

Первинні корінці завдовжки 0,8—1,0 см фіксували протягом 4 год у фіксаторі Кларка, що складається з 96 %-го розчину етанолу і льодяної оцтової кислоти у співвідношенні 3 : 1. Хімічну мацерацію корінців проводили протягом 1 хв в 1 н розчині соляної кислоти. Після мацерації, з метою аналізу хромосомних аберацій та порушень мітозу клітин, корінці вміщували в розчин ацетоорсеїну на 24 год за температури 23—25 °С.

Для мікроскопічного аналізу готували тимчасові давлені цитологічні препарати за загальноприйнятими методиками [21]. Меристема-

тичну зону корінців вивчали з використанням мікроскопа «JENAVAL» (Carl Zeiss Jena) за збільшення $\times 900$. Під час визначення частоти хромосомних аберацій і порушень мітозу до уваги брали клітини, які перебували в анафазі та ранній телофазі. Вибірка становила не менш як 1000 клітин для кожного варіанта. Враховували частоту абераційних клітин як відсоток клітин в анафазі та ранній телофазі з порушеннями хромосом. При обчисленні середньої кількості аберацій на абераційну клітину (КА-наАК) враховували клітини з 0, 1, 2 та множинними хромосомними абераціями («>2» аберацій). Експериментальні дані оброблені статистично за загальноприйнятими методиками [12], вірогідність різниці оцінено за *t*-критерієм Стьюдента. У таблиці наведено середньоарифметичні значення та їх стандартні похибки.

Результати та обговорення

Збільшення кількості аберацій хромосом у клітинах меристематичних тканин є неспецифічною реакцією клітин живих організмів на вплив мутагенів навколишнього середовища, яка виявляється за дії чинників різної природи, у тому числі й іонізуючої радіації [4]. В умовах впливу радіонуклідних забруднень донних відкладів водойм зони відчуження ЧАЕС частота хромосомних аберацій в клітинах кореневої меристеми пшениці м'якої озимої перевищує спонтанні показники в 1,6–3,3 рази (таблиця). Найвищу цитогенетичну активність іонізуючого випромінювання виявлено за пророщування насіння на субстраті донних відкладів відповідного каналу № 2 ЧАЕС. Частота абераційних клітин становила $2,50 \pm 0,28$ % у сорту Альбатрос одеський і $2,94 \pm 0,46$ % у сорту Зимоярка, що істотно перевищувало показники контролю відповідно в 3,3 і 3,1 рази. Зростання рівня хромосомних аберацій в 2,1–2,4 рази, що статистично вірогідно перевищувало спонтанні показники, виявлено за умов впливу радіонуклідних забруднень донних відкладів лівого берега Прип'ятського каналу МК-6 і водойми-охолодника ЧАЕС. Унаслідок радіаційного ураження меристематичних клітин первинних корінців пшениці сорту Зимоярка, насіння якої пророщували на субстратах донних відкладів каналів № 1 і 3, частота абераційних клітин перевищувала показники контролю в 2,2–2,3 рази, на відміну від сорту Альбатрос одеський, де зростання рівня клітин з хромосомними абераціями в 1,6–1,9 рази знаходилось за межами статистичної вірогідності.

Вивчивши радіоекологічні проблеми водних екосистем зони відчуження ЧАЕС, деякі дослідники дійшли висновку, що найнижчою питомою активністю радіонуклідів характеризуються компоненти річкових екосистем, донні відклади яких зазнали природного самоочищення і за роки, що минули з часу аварії, перестали відігравати істотну роль вторинного джерела забруднення водойм [7]. У результаті аналізу цитогенетичних порушень у клітинах різних за генотипами зразків пшениці, що індуковані радіонуклідами донних відкладів правого берега Прип'ятського каналу МК-6, встановлено неістотне зростання частоти хромосомних аберацій, однак її рівень перевищував контрольні показники вдвічі. Це можна розглядати як наслідок ефекту подвоювальної дози опромінення, що свідчить про можливу генетичну небезпеку радіаційних забруднень.

Переважними типами хромосомних перебудов і порушень мітозу в спектрі цитогенетичних порушень, індукованих радіонуклідними забрудненнями донних відкладів водойм зони відчуження ЧАЕС, виявились

Частота і спектр хромосомних аберацій в меристематичних клітинах первинних коріньків озимої пшениці сортів Альбатрос одеський і Зимоярка за дії радіонуклідного забруднення донних відкладів водойм зони відчуження ЧАЕС

Місце відбирання зразка	Вивчено ана-телофаз мітозів, шт.	Мітози з порушеннями і хромосомними абераціями		Спектр порушень мітозу і хромосомних аберацій						К АнаК				
		шт.	%	Фрагменти	Мости		Мости + фрагменти	Відстаючі хромосоми		Хромосомні клітья				
					шт.	%		шт.	%	шт.	%			
Альбатрос одеський														
оз. Голосівецьке (контроль)	1073	8	0,75±0,26	4	0,37	4	0,37	0	0	0	0	0	0	1,00
Відвідний канал № 1 ЧАЕС	1187	17	1,43±0,35	11	0,93	5	0,42	0	0	0	0	1	0,08	1,35*
Відвідний канал № 2 ЧАЕС	1242	31	2,50±0,28*	18	1,45*	11	0,89	1	0,08	1	0,08	0	0	1,39*
Відвідний канал № 3 ЧАЕС	1063	13	1,22±0,33	3	0,28	10	0,94	0	0	0	0	0	0	1,08
Прип'ятський канал МК-6 (правий берег)	1453	22	1,51±0,32	10	0,69	8	0,55	1	0,07	3	0,20	0	0	1,36*
Прип'ятський канал МК-6 (лівий берег)	1461	26	1,78±0,35*	7	0,48	17	1,16*	0	0	2	0,14	0	0	1,19*
Водойма-охолодник ЧАЕС, БНС	1683	26	1,54±0,30*	12	0,71	11	0,65	1	0,06	2	0,12	0	0	1,12
Зимоярка														
оз. Голосівецьке (контроль)	1053	13	0,95±0,30	2	0,19	8	0,76	0	0	0	0	0	0	1,00
Відвідний канал № 1 ЧАЕС	1112	23	2,07±0,43*	5	0,45	17	1,53	1	0,09	0	0	0	0	1,26*
Відвідний канал № 2 ЧАЕС	1327	39	2,94±0,46*	9	0,68	25	1,88*	0	0	2	0,15	3	0,23	1,28*
Відвідний канал № 3 ЧАЕС	1235	27	2,19±0,42*	6	0,49	17	1,38	0	0	3	0,24	1	0,08	1,19*
Прип'ятський канал МК-6 (правий берег)	1051	20	1,90±0,42	3	0,28	17	1,62	0	0	0	0	0	0	1,20*
Прип'ятський канал МК-6 (лівий берег)	1458	32	2,20±0,38*	11	0,75*	18	1,24	1	0,07	2	0,14	0	0	1,25*
Водойма-охолодник ЧАЕС, БНС	1448	33	2,28±0,39*	7	0,48	24	1,66*	0	0	1	0,07	1	0,07	1,12*

*Різниця з контролем статистично вірогідна за $P < 0,05$.

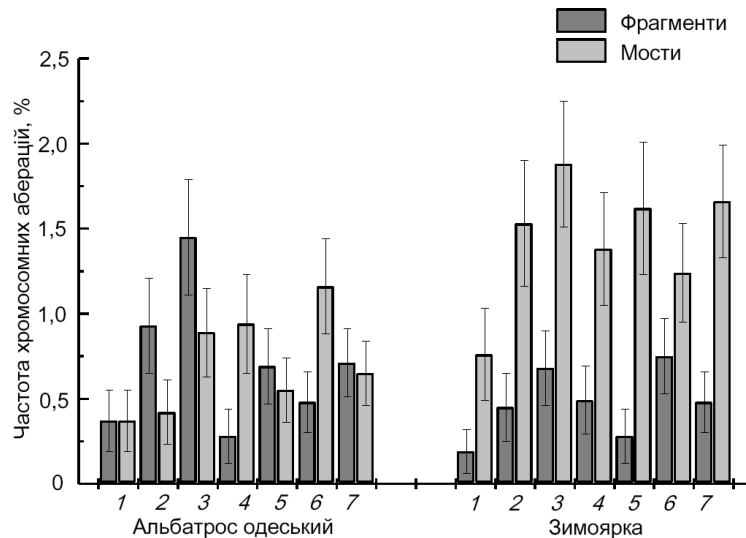


Рис. 1. Частота утворення ацентричних фрагментів і дицентричних мостів у меристематичних клітинах первинних корінців пшениці за впливу радіонуклідних забруднень донних відкладів водойм ближньої зони відчуження ЧАЕС:

1 — оз. Голосіївське (контроль); 2 — відвідний канал № 1 ЧАЕС; 3 — відвідний канал № 2 ЧАЕС; 4 — відвідний канал № 3 ЧАЕС; 5 — Прип'ятський канал МК-6 (правий берег); 6 — Прип'ятський канал МК-6 (лівий берег); 7 — водойма-охолодник ЧАЕС

одиночні й парні ацентричні фрагменти, хроматидні й хромосомні мости та відстаючі хромосоми. Спектр аберацій у контролі представлений виключно одиночними ацентричними фрагментами та дицентриками хроматидного типу. Їстотне зростання частки мостів хромосомного і хроматидного типів відносно загального рівня цитогенетичних порушень виявлено за умов впливу на клітини кореневої меристеми радіонуклідних забруднень донних відкладів відвідного каналу № 3 ЧАЕС і лівого берега Прип'ятського каналу МК-6 у сорту Альбатрос одеський та відвідного каналу № 2, правого берега Прип'ятського каналу і водойми-охолодника ЧАЕС у сорту Зимоярка (рис. 1). Їх рівень перевищував спонтанні показники в 2,2–3,1 раза, становив відповідно 0,94 і 1,16 та 1,88 і 1,66 % за їх показників у контролі 0,37 і 0,76 %. Радіонуклідні забруднення донних відкладів відвідних каналів № 1, 2 та лівого берега Прип'ятського каналу МК-6 спричинювали зростання частки клітин з ацентричними фрагментами в 2,5–3,9 раза, що становило 0,93 і 1,45 % у сорту Альбатрос одеський та 0,75 % у сорту Зимоярка, за контрольних показників відповідно 0,37 і 0,19 %.

Крім парних фрагментів і мостів типовими індикаторами радіаційного ураження генетичного матеріалу є хромосомні кільця [25, 34] (рис. 2). Вони утворюються в результаті делеції специфічних районів хромосом — теломерних ділянок [2]. Їх виявлено в меристематичних клітинах за умов пророщування насіння на субстратах донних відкладів відвідного каналу № 1 ЧАЕС у сорту Альбатрос одеський та відвідних каналів № 2, 3 ЧАЕС і водойми-охолодника ЧАЕС у сорту Зимоярка. З високою частотою (0,23 %) хромосомні кільця з'являлись за впливу іонізуючого випромінювання радіонуклідів донних відкладів відвідного каналу № 2 ЧАЕС. Індукування парних хромосомних кілець радіонуклідними забрудненнями донних відкладів відвідного каналу № 3 ЧАЕС

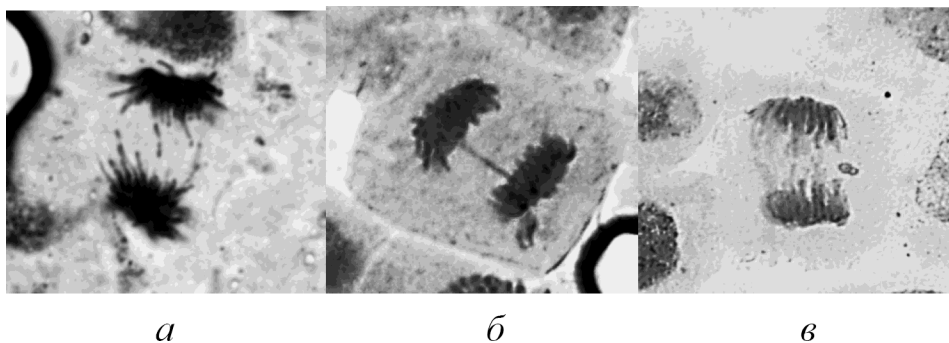


Рис. 2. Типи хромосомних аберацій, індуковані у меристематичних клітинах первинних корінців пшениці радіонуклідним забрудненням донних відкладів водоюм ближньої зони відчуження ЧАЕС:

a — парні ацентричні фрагменти; *б* — дицентричний міст; *в* — парні хромосомні кільця

вказує на розрив хромосоми в той момент, коли вона представлена функціонально одиничною ниткою — в G_0 чи G_1 періоди інтерфази [33].

Зважаючи на те що дія іонізуючого випромінювання для природних екосистем практично ніколи не виявляється у «чистому» вигляді [17], орієнтування тестів з визначення цитогенетичної активності генотоксичних забруднювачів лише на облік структурних хромосомних аберацій чи пошкоджень ДНК істотно звужує уявлення про мутагенні властивості досліджуваних чинників, багато з яких здатні викликати геномні мутації без прояву вираженого кластогенного ефекту [32]. Забруднювальні чинники донних відкладів водоюм Чорнобильської зони відчуження індукують порушення мітотичного апарату з невисокою частотою — 0,08—0,24 %, що дає підставу припустити наявність незначного вмісту анеугенів — речовин, що впливають на апарат поділу клітини, і підвищеного вмісту кластогенів — чинників, які безпосередньо діють на хромосоми [30]. Індукування порушень мітозу може бути пов'язане з наявністю у водоюмах хімічних ксенобіотиків і важких металів, які у великих кількостях використовували для дезактивації найбільш забруднених радіонуклідами територій зони відчуження ЧАЕС [20]. Ефект їх впливу частіше виявляється через взаємодію з багатьма мішенями, що прямо чи опосередковано контролюють сегрегацію хромосом. Наслідком таких подій є нелінійна залежність частоти кількісних хромосомних порушень від концентрації мутагену [31]. Поява клітин з відстаючими хромосомами може бути пов'язана з порушенням організації клітинних центрів поділу, дефектами веретена поділу, пошкодженнями кінетохору чи його функції, змінами відносин між веретеном поділу й кінетохорами, дефектами центромерного району, змінами взаємодій між центромерними районами сестринських хроматид у процесі мітозу [14, 27].

Тяжкість генетичних порушень, спричинених радіаційним опроміненням, відображають клітини з множинними абераціями, виявлені за умов пророщування насіння на субстратах донних відкладів відповідних каналів № 1 і 2 ЧАЕС, водоюми-охолодника ЧАЕС, правого і лівого берегів Прип'ятського каналу МК-6. Показник $K_{\text{АнаАК}}$ є якісно відмінною кількісною характеристикою цитогенетичної активності радіаційного забруднення середовища і прямо не залежить від частоти абераційних клітин [18]. У меристемі проростків він становив 1,08—1,39

у сорту Альбатрос одеський та 1,12—1,26 — у сорту Зимоярка (див. таблицю). Найвищі значення цей показник мав за дії радіонуклідного забруднення донних відкладів відвідних каналів № 1 і 2 ЧАЕС та лівого й правого берегів Прип'ятського каналу МК-6. Радіонуклідне забруднення донних відкладів правого берега Прип'ятського каналу МК-6, яке індукуює низьку частоту клітин із хромосомними абераціями, викликає в меристемі проростків пшениці істотне зростання частки клітин із множинними абераціями.

Отже, радіонуклідне забруднення донних відкладів водоюм ближньої зони відчуження Чорнобильської АЕС у віддалені строки після аварії призводить до зростання рівня цитогенетичних порушень в 1,6—3,3 раза. Найвищу мутагенну активність іонізуючого випромінювання виявлено за умов пророщування насіння на субстратах донних відкладів відвідного каналу № 2 ЧАЕС, лівого берега Прип'ятського каналу МК-6 та водоюми-охолодника ЧАЕС. Спектр типів хромосомних аберацій переважно утворюють одиничні й подвійні ацентричні фрагменти та мости хроматидного й хромосомного типів. Невисока частота анеуплоїдних клітин (0,07—0,24 %), виявлених у спектрі цитогенетичних порушень, дає підставу припустити наявність у донних відкладах незначних концентрацій мутагенних чинників, ймовірно хімічної природи, що впливають на апарат поділу клітини і сегрегацію мітотичних хромосом. Донні відклади водних об'єктів зони відчуження ЧАЕС, рівень радіонуклідного забруднення яких характеризується високою цитогенетичною активністю, з високою частотою індуюють клітини з комплексними хромосомними перебудовами, що вважають специфічним проявом біологічного впливу іонізуючого випромінювання. Однак, незважаючи на невисоку частоту клітин із хромосомними перебудовами, індукованими в кореневій меристемі пшениці радіонуклідним забрудненням донних відкладів правого берега Прип'ятського каналу МК-6, тяжкість генетичних порушень характеризується істотним зростанням кількості аберацій на аберантну клітину. Оскільки питома радіоактивність водоюм і водотоків на сьогодні визначається інтенсивністю переходу депонованих донними відкладами радіонуклідів у водні маси, при виведенні з експлуатації водоюми-охолодника ЧАЕС та зміні рівня води у водоюмах ближньої зони відчуження необхідно передбачити серед критичних подій небезпеку зростання мутагенної активності водних екосистем і тяжких генетичних наслідків у гідробіонтів.

1. Біланч М.М., Ніколайчук В.І. Свинець, кобальт і цинк у ґрунтах Закарпатської області // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. — 2008. — № 3. — С. 19—26.
2. Болегенова Н.К., Таникенова Б., Бекманов Б.О. Цитогенетический анализ частоты хромосомных aberrаций в трех поколениях семей, проживающих вблизи Семипалатинского ядерного полигона // Вестн. НАН Республики Казахстан. — 2009. — № 4. — С. 27—35.
3. Букатич Е.Ю., Обвинцева Н.А., Пряхин Е.А. Цитогенетические эффекты острого гамма-облучения в клетках меристемы проростка латука (*Lactuca sativa* L.) // Вестн. Челябинск. гос. ун-та. Сер. Биология. — 2013. — 2, № 7. — С. 104—106.
4. Горова А.І., Риженко С.А., Скворцова Т.В. та ін. Обстеження та районування територій за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів: Методичні рекомендації. — К.: ДМП «Полімед», 2007. — 35 с.
5. Горова А.И., Скворцова Т.В., Павличенко А.В., Лисицкая С.М. Мониторинговый контроль состояния водных экосистем на основе цитогенетических методов // III Всеукр. з'їзд екологів з міжнародною участю (21—24 вересня 2011, Вінниця): Зб. наук. статей. — Т. 1. — Вінниця, ВНТУ, 2011. — С. 314—317.

6. Гудков Д.И., Каглян А.Е., Кленус В.Г. и др. Современные уровни и динамика радионуклидного загрязнения компонентов водных экосистем в Чернобыльской зоне отчуждения // Наук. зап. Тернопіл. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. — 2015. — 64, № 3—4. — С. 149—152.
7. Гудков Д., Кузьменко М., Кіреєв С. та ін. Радіоекологічні проблеми водних екосистем зони відчуження Чорнобильської АЕС // Вісн. НАН України. — 2008. — № 4. — С. 44—55.
8. Гудков Д.И., Кузьменко М.И., Киреев С.И. и др. Радиоэкологические проблемы водных экосистем в Чернобыльской зоне отчуждения // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2009. — 49, № 2. — С. 192—202.
9. Гудков Д.И., Протасов А.А., Щербак В.И. и др. Современное гидробиологическое и радиоэкологическое состояние водоема-охладителя Чернобыльской АЭС // Доп. НАН України. — 2015. — № 1. — С. 173—179.
10. Дерій С.І., Титаренко Л.М. Радіоекологічна ситуація на території Черкаської області після чорнобильської аварії // Екологічна безпека. — 2008. — № 3—4. — С. 50—53.
11. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2002 році. — К.: Державний комітет ядерного регулювання України, 2003. — 82 с.
12. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). — М.: Колос, 1985. — 351 с.
13. Дурдинець В.В., Саєнко Ю.І., Привалов Ю.О. Соціальні ризики та соціальна безпека в умовах природних і техногенних надзвичайних ситуацій та катастроф. — К.: Стило, 2001. — 479 с.
14. Ковалева О.А. Цитогенетические аномалии в соматических клетках млекопитающих // Цитология и генетика. — 2008. — 42, № 1. — С. 58—72.
15. Козловська Т.Ф., Дейна І.П., Андрусенко О.М. Особливості формування екологічного ризику в умовах радіоактивного забруднення регіональних урбоекосистем // Екологічна безпека. — 2008. — № 3—4. — С. 40—45.
16. Косаковская И.В., Гудкова Н.В. Влияние гамма-радиации и высокой температуры на состав кислоторастворимых ядерных белков проростков озимой пшеницы // Физиология и биохимия культ. растений. — 2005. — 37, № 1. — С. 24—29.
17. Крышев И.И., Сазыкина Т.Г. Имитационные модели динамики экосистем в условиях антропогенного воздействия ТЭС и АЭС. — М.: Энергоатомиздат, 1990. — 184 с.
18. 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.
19. Лисовицкая О.В., Терехова В.А. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения // Докл. по экологическому почвоведению. — 2010. — № 1. — С. 1—18.
20. Мельник М.К. Вплив іонізуючої радіації та свинцю на показники нейроендокринної системи у шурів та їх корекція: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — К., 2003. — 15 с.
21. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1988. — 271 с.
22. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища Київської області у 2015 році. Департамент екології та природних ресурсів Київської обласної державної адміністрації. — К., 2016. — 233 с.
23. Романенко В.Д. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. — К.: Логос, 2006. — 408 с.
24. Романенко В., Гудков Д., Кузьменко М. Гідробіонти водойм Чорнобильської зони // Світогляд. — 2014. — 46, № 2. — С. 37—46.
25. Снигирева Г.П. Последствия воздействия ионизирующих излучений: цитогенетические изменения в лейкоцитах крови человека: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — М., 2009. — 46 с.
26. Талерко Н.Н., Гаргер Е.К., Кузьменко А.Г. Прогнозная оценка трансграничного переноса радионуклидов вследствие прохождения смерча над водоемом-охладителем ЧАЭС // Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля. — 2013. — Вып. 20. — С. 85—93.
27. Тимошевский В.А., Назаренко С.А. Интерфазная цитогенетика в оценке геномных мутаций в соматических клетках // Генетика. — 2005. — 41, № 1. — С. 5—16.
28. Фесенко С.В., Скотникова О.Г., Скрыбин А.М. и др. Моделирование долгосрочной миграции ^{137}Cs и ^{90}Sr в непроточном пресноводном водоеме // Радиационная биология. — Радиоэкология. — 2004. — 44, № 4. — С. 466—472.
29. Холоша В.І. Радіологічний стан територій, віднесених до зон радіоактивного забруднення (у розрізі районів). — К.: ВЕТА, 2008. — 49 с.

30. Шевцова Н.Л., Гудков Д.И. Цитогенетические эффекты малых доз ионизирующего излучения у тростника обыкновенного *Phragmites australis* L. из водоемов Чернобыльской зоны отчуждения // Радиоекология-2014 (24–26 квітня 2014, Київ): Матеріали наук.-практ. конф. з міжнародною участю. — Житомир: Вид-во Житомир. держ. ун-ту ім. І. Франка. — С. 236–240.
31. 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, N 1. — P. 41–51.
32. Duesberg P., Rasnick D. Aneuploidy, the somatic mutation that makes cancer a species of its own // Cell Motility and Cytoskeleton. — 2000. — 47, N 2. — P. 81–107.
33. Durante M., Furusawa Y., George K. Rejoining and misrejoining of radiation-induced chromatin breaks. IV. Charged particles // Radiat. Res. — 1998. — 149. — N 5. — P. 446–454.
34. Naito K., Kusabba M., Shikazono N. et al. Transmissible and nontransmissible mutations induced by irradiation *Arabidopsis thaliana* pollen with γ -rays and carbon ions // Genetics. — 2005. — 169, N 2. — P. 881–889.

Отримано 19.04.2017

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЕМОВ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

Р.А. Якимчук

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Проведен цитогенетический анализ клеток корневой меристемы пшеницы *T. aestivum* L., семена которой были пророщены на радионуклидно загрязненных субстратах донных отложений водоемов ближней зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Установлено, что частота хромосомных aberrаций в 1,6–3,3 раза превышала показатели спонтанного уровня, спектр их типов преимущественно формировали ацентрические фрагменты и мосты. Высокая частота выявленных анеуплоидных клеток может свидетельствовать о наличии в донных отложениях незначительных концентраций мутагенных факторов, влияющих на аппарат деления клетки и сегрегацию хромосом. Тяжесть генетических последствий влияния радионуклидных загрязнений характеризует существенное возрастание количества aberrаций на aberrантную клетку.

CYTOGENETIC ACTIVITY OF RADIONUCLIDE CONTAMINATIONS OF BOTTOM DEPOSITS OF WATER RESERVOIRS IN THE NEAR ALIENATION ZONE OF CHORNOBYL NPP

R.A. Yakimchuk

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

A cytogenetic analysis of the cells of *T. aestivum* L. root meristem, whose seeds were grown on radio-nuclide contaminated substrates of bottom deposits of water reservoirs of the near alienation zone of Chornobyl NPP, was made. Frequency of chromosome aberrations exceeds the indices of spontaneous level by 1.6–3.3 times. Their type spectrum consists mostly of acentric fragments and bridges. The low frequency of revealed aneuploid cells can prove the availability of small concentrations of mutagenic factors in bottom deposits, which affect the apparatus of cell division and chromosome segregation. A significant increase of the index of aberration number per aberrant cell indicates the gravity of genetic after-effects of radionuclide contamination.

Key words: *Triticum aestivum* L., cytogenetic violations, chromosome aberrations, bottom deposits, radionuclide contamination.