

УДК 575.224.4 : 633.111

ЦИТОГЕНЕТИЧНІ ЕФЕКТИ, ІНДУКОВАНІ РАДІАЦІЙНИМ  
ЗАБРУДНЕННЯМ ТЕРИТОРІЙ ВІДХОДАМИ УРАНОДОБУВНОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ

Р.А. ЯКИМЧУК

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

Проведено цитогенетичний аналіз меристематичних клітин первинних коренів озимої пшениці, насіння якої було піддане впливу радіоактивних ізотопів пилюватої фракції відвалів Інгульської та Смолінської шахт, а також ґрунту, взятого з промислової зони і хвостосховищ накопичення відходів переробки уранової руди. Виявлено істотне збільшення частоти хромосомних аберацій, серед яких переважали ацентричні фрагменти та дицентричні мости. Радіоізотопи пилюватої фракції відвалів Смолінської шахти спричинювали до появи клітин з відстаючими хромосомами, що свідчить про можливість індукування геномних мутацій. Зважаючи на реальність вільного перенесення радіоактивно забрудненого пилу, уранодобувна промисловість може становити генетичну загрозу і на прилеглих до промислової зони територіях.

*Ключові слова: Triticum aestivum L., хромосомні аберації, мутаційна мінливість, іонізувальне випромінювання, мутагенна активність.*

Усі живі організми, включаючи людину, з моменту свого зародження на Землі постійно піддаються впливу іонізувального випромінювання від природних джерел, серед яких найбільший внесок припадає на радіонукліди

уранового ряду земного походження [8]. У зв'язку з цим еволюційно сформувались адекватні біосистеми радіозахисту для адаптації до природного фону [15]. Однак дія ізотопів урано-радієвого та торієвого рядів стала істотно відчутнішою в результаті технологічних процесів, пов'язаних із видобутком уранової руди, її переробкою, збагаченням, виготовленням ядерного палива [9]. Уранова промисловість України становить 3,3 % світового виробництва урану [16] і робить значний внесок у розширення радіаційно несприятливих територій, які оцінено в 30 % площі держави [6, 8]. Зокрема, Дніпропетровська область за обсягом накопичених радіоактивних відходів ядерного паливного циклу внаслідок діяльності ДП «Східний гірничозбагачувальний комбінат» поступається лише Чорнобильській зоні відчуження [17]. У результаті в окремих регіонах річна доза опромінення населення від природних джерел, зросла до 4,5 мЗв, що значно перевищує середньосвітовий рівень – 2,4 мЗв [10].

Спираючись на результати багаторічних досліджень з вивчення генетичних наслідків потрапляння радіоактивних ізотопів у довкілля та, як результат, підвищення природного рівня радіоактивності, в районах розміщення підприємств з видобутку та переробки уранової руди можна очікувати зростання частоти мутаційної мінливості живих організмів, дестабілізацію геному, зміну напрямку їх природного добору, збільшення числа випадків захворювання на рак, скорочення тривалості життя, порушення статевого диморфізму [1, 2, 4, 5, 14]. Тому в оцінці можливих наслідків таких впливів виключна роль належить генетичному моніторингу радіаційно небезпечних територій, встановленню їх впливу на спадкові структури організмів.

Метою роботи було вивчення за частотою цитогенетичних порушень в озимої пшениці мутагенної активності радіаційних забруднень підприємств із видобутку й переробки уранової руди.

## Методика

Для визначення мутагенної активності радіаційного забруднення промислової зони Смолінської та Інгульської шахт ДП «Східний гірничозбагачувальний комбінат» (СхідГЗК), хвостосховищ «Сухачівське, секція 1» ВО «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ) і балки «Щербаківська» ДП «СхідГЗК», проведено цитогенетичний аналіз меристематичних клітин первинних коренів проростків озимої пшениці (*T. aestivum* L.) сортів Альбатрос одеський і Зимоярка. Насіння впродовж 40 год витримували у вологих радіоактивних субстратах: пилюватій фракції, що накопичується поблизу відвалів шахт (потужність експозиційної дози 100-500 мкР/год  $(7,17...35,85) \cdot 10^{-12}$  А/кг), ґрунті, взятому з промислових зон шахт (потужність експозиційної дози 70-100 мкР/год  $(5,02...7,17) \cdot 10^{-12}$  А/кг), хвостосховищ (потужність експозиційної дози 140-180 мкР/год  $(10,04...12,91) \cdot 10^{-12}$  А/кг). Контролем слугував ґрунт, взятий з території 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. Проби ґрунту відбирали за стандартними методиками [3].

Насіння пророщували за температури 24-26<sup>0</sup>С. Первинні корені завдовжки 0,8-1,0 см фіксували в «оцтовому алкоголі» та піддавали мацерації дією 1 н розчину соляної кислоти. Із апікальної меристеми коренів, забарвлених ацетокарміном, виготовляли тимчасові давлені препарати. Під час визначення частоти хромосомних аберацій брали до уваги клітини, які знаходились в анафазі та ранній телофазі мітозу. Вибірка становила не менш як 1000 клітин для кожного варіанту.

## Результати та обговорення

Найдоступнішим критерієм оцінювання генетичної активності мутагенів різної природи і спектра дії є хромосомні перебудови [7, 11-13]. Встановлено вірогідний зв'язок між частотою цитогенетичних порушень і

поглиненою дозою іонізуючого випромінювання під час досліджень, виконаних на Східноуральському радіоактивному сліді й на територіях, забруднених радіонуклідами в результаті Чорнобильської аварії. Подібні закономірності встановлено і в спостереженнях за рослинами, які заселяють ділянки, забруднені важкими металами. Тому збільшення частоти цитогенетичних порушень у популяціях рослин, що зростають на забруднених ділянках, є універсальною реакцією на техногенний стрес [4].

Під час цитогенетичного аналізу меристематичних клітин первинних коренів озимої пшениці за впливу пилюватої фракції відвалів уранової руди Смолінської та Інгульської шахт, що містить ізотопи урану, радію, торію, виявлено істотне збільшення частоти хромосомних аберацій, що перевищувала контрольний рівень для сорту Альбатрос одеський у 4,1-6,3, для сорту Зимоярка – в 4,7-7,8 раза (таблиця). Радіаційний вплив на клітини засвідчує поява переважно поодиноких і парних фрагментів, дицентричних хромосомних мостів у співвідношенні  $\leq 1$ . Частота абераційних клітин, індукованих ізотопами пилюватої фракції відвалів відходів переробки уранової руди Смолінської шахти, перевищує частоту клітин з хромосомними перебудовами за екологічних умов впливу відвалів Інгульської шахти. Виявлена відмінність може бути пов'язана з підвищенням у 1,7 раза вмістом урану-238 в руді Смолінської шахти.

Крім мостів і фрагментів, які переважали у спектрі хромосомних аберацій, в меристематичних клітинах обох сортів озимої пшениці в поодиноких випадках траплялись мікроядра. Під впливом ізотопів пилюватої фракції відвалів Смолінської шахти у сорту Зимоярка було виявлено клітини з відстаючими хромосомами, що свідчить про індукування в організмі рослин геномних порушень.

**Частота і спектр хромосомних аберацій в озимій пшениці за умов пролонгованої дії радіоактивних забруднень уранодобувної промисловості**

Місце відбору зразка	Вивчені корені, шт.	Вивчені ана-телофази мітозу, шт.	Мітози з порушеннями і хромосомними абераціями		Спектр порушень мітозу й хромосомних аберацій, шт.				Відношення фрагменти/мости
			шт.	%	фрагменти	мости	мікроядра	відстаючі хромосоми	
<b>Альбатрос одеський</b>									
сmt Глеваха (контроль)	39	1034	4	0,39±0,19	4	0	0	0	-
Пилувата фракція відвалів Інгульської шахти	35	1008	16	1,59±0,39*	6	9	1	0	0,7
Промзона Інгульської шахти	33	1030	9	0,87±0,29	2	7	0	0	0,3
Пилувата фракція відвалів Смолінської шахти	33	1020	25	2,45±0,48*	9	15	1	0	0,6
Промзона Смолінської шахти	24	1010	16	1,58±0,36*	6	9	1	0	0,7
Хвостосховище «Сухачівське Секція 1»	28	955	22	2,30±0,49*	10	12	0	0	0,8
Хвостосховище балки «Щербаківська»	24	1081	22	2,04±0,43*	11	10	1	0	1,1
<b>Зимоярка</b>									
сmt Глеваха (контроль)	21	1129	3	0,27±0,15	3	0	0	0	-
Пилувата фракція відвалів Інгульської шахти	24	1030	10	1,26±0,35*	6	7	0	0	0,9
Промзона Інгульської шахти	27	1041	8	0,77±0,27	4	4	0	0	1,0
Пилувата фракція відвалів Смолінської шахти	39	1049	22	2,10±0,44*	5	14	1	2	0,4
Промзона Смолінської шахти	27	1122	12	1,07±0,31*	3	9	0	0	0,3
Хвостосховище «Сухачівське Секція 1»	30	1144	23	2,01±0,42*	9	14	0	0	0,6
Хвостосховище балки «Щербаківська»	24	1086	16	1,47±0,37*	5	10	1	0	0,5

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

Під дією ізотопів ґрунту, взятого з території переробки і транспортування гірничої маси «Алтаїт» Смолінської шахти, аберантні клітини з'являлися з частотою, що перевищувала контрольну в сорту Альбатрос одеський в 4,0, у сорту Зимоярка – в 4,1 раза. Рівень хромосомних порушень підвищувався за впливу на насіння озимої пшениці ґрунту, взятого з промислової зони Інгульської шахти, однак статистично вірогідної різниці відносно контролю не виявлено. Спектр хромосомних аберацій складається з одиничних фрагментів й дицентричних мостів. Співвідношення між частотою їх утворення, що не перевищує одиницю, вказує на радіаційну причину виникнення порушень спадкових структур [14].

Серед небезпечних джерел формування техногенної складової підвищеного радіаційного фону Дніпропетровської обл. є хвостосховища гідрометалургійного заводу ДП «СхідГЗК», що знаходиться в м. Жовті Води, де накопичено 41,2 млн т радіоактивних відходів активністю 62,1 кКі та колишнього ВО «ПХЗ» м. Дніпродзержинськ, де протягом 1948-1991 рр. створено 9 сховищ радіоактивних відходів, в яких зберігається понад 36 млн т відходів уранового виробництва загальною активністю близько 75 кКі [17]. Основними дозоутворювальними радіоізотопами цих територій є уран-238, радій-226, торій-230, торій-228, свинець-210, калій-40. Їх сумісна дія на насіння озимої пшениці викликає значне зростання частоти хромосомних перебудов в меристематичних клітинах первинних коренів. Під дією ізотопів ґрунту, взятого з хвостосховища «Сухачівське, секція 1» ВО «ПХЗ», у сортів Альбатрос одеський та Зимоярка індукуються хромосомні аберації з частотою, що перевищує контрольну в 5,9 та 7,4 раза.

Подібні наслідки радіаційного ураження мітотичних клітин озимої пшениці зафіксовано й за умов пролонгованої дії вологого ґрунту, взятого із хвостосховища балки «Щербаківська» ДП «СхідГЗК». Частота аберантних клітин у сортів Альбатрос одеський і Зимоярка перевищувала контрольний рівень відповідно у 5,2 та 5,4 раза. Оскільки ґрунти хвостосховищ окрім

радіоактивних ізотопів містять низку інших отруйних хімічних елементів (зокрема арсен, ванадій, селен) та їх сполуки, важкі метали, логічно припустити, що високий рівень хромосомних аберацій є результатом впливу не лише радіоактивного опромінення, але й синергічного ефекту сумісної дії фізичних і хімічних чинників.

Серед хромосомних аберацій найчастіше траплялись дицентричні мости хромосомного типу й парні ацентричні фрагменти. Радіоізотопи ґрунту, взятого із хвостосховища балки «Щербаківська», індукують у мітотичних клітинах обох сортів озимої пшениці мікроядра.

Отже, промислові об'єкти, які задіяні в циклі видобутку і переробки уранової руди, спричинюють вивільнення в навколишнє середовище радіоактивних ізотопів природного походження. Разом із накопиченими радіоактивними відходами в межах хвостосховищ колишнього ВО «ПХЗ» та ДП «СхідГЗК» вони призводять до підвищення радіаційного фону територій та, як наслідок, до зростання мутаційної мінливості організмів. За результатами цитогенетичного аналізу встановлено істотне збільшення частоти хромосомних аберацій за умов пролонгованої дії на насіння озимої пшениці радіоактивних ізотопів пилюватої фракції відвалів Смолінської та Інгульської шахт, ґрунту, взятого з їх промислових зон і хвостосховищ. Спектр хромосомних перебудов і порушень мітозу переважно складався з дицентричних мостів хромосомного типу, парних ацентричних фрагментів, мікроядер. Співвідношення фрагментів і мостів виявилось меншим за одиницю. Під дією ізотопів пилюватої фракції уранової руди Смолінської шахти у спектрі порушень мітозу з'являлись відстаючі хромосоми, що свідчить про можливість індукування геномних мутацій. Через реальність вільного поширення радіоактивно забрудненого пилу вітром, уранодобувна промисловість може стати генетично загрозливою і на прилеглих до промислової зони територіях.

1. Артамонов В.М., Мартинова О.А., Жуков С.П. Порівняльно-екологічна характеристика відвалів вугільних шахт Донецького та Червоноградського промислових районів // Проблеми екології. – 2008. – № 1-2. – С. 99-103.
2. Асташева Н.П., Храмцова Л.К. Закономерности образования аббераций хромосом в лимфоцитах крови крупного рогатого скота при облучении *in vitro* // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2002. – **42**, № 3. – С. 251-253.
3. Беккер А.А., Агаев Т.Б. Охрана и контроль загрязнения природной среды. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 286 с.
4. Гераськин С.А., Мозолин Е.М., Дикарев В.Г. и др. Цитогенетические эффекты в популяциях *Koeleria gracilis Pers.* с территории Семипалатинского испытательного полигона // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2009. – **49**, № 2. – С. 147-157.
5. Гичев Ю.П. Загрязнение окружающей среды и экологическая обусловленность патологии человека: Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН. – Новосибирск, 2003. – 138 с.
6. Дорогунцов С.И., Хвесик М.А., Горбач Л.М., Пастушенко П.П. Екосередовище і сучасність. Т.1. Природне середовище у сучасному вимірі. – К.: Кондор, 2006. – 424 с.
7. Дружинин В.Г. Количественные характеристики частоты хромосомных аббераций в группе жителей крупного промышленного региона западной Сибири // Генетика. – 2003. – **39**, № 10. С. 1373-1380.
8. Захарченко М.П., Хавинсон В.Х., Оникиенко С.Б., Новожилов Г.Н. Радиация, экология, здоровье. – СПб: Гуманистика, 2003. – 336 с.
9. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля: підручник. – К.: Видавничий центр «Академія», 2006. – 360 с.
10. Коваленко Г.Д. Радиоэкология Украины. – Харьков: ИД «Инжек», 2008. – 264 с.



11. Кравец А.П., Гатилова Г.Д., Гродзинский Д.М. Динамика образования цитогенетических аномалий в меристеме проростков при хроническом облучении семян // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2008. – **48**, № 3. – С. 313-317.
12. Любимова Н.Е., Воробцова И.Е. Влияние возраста и низкодозового облучения на частоту хромосомных аббераций в лимфоцитах человека // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – **47**, № 1. – С. 80-85.
13. Минина В.И., Дружинин В.Г. Геномные дозы активных генов рРНК у рабочих коксохимического производства // Генетика. – 2004. – **40**, № 12. – С. 1702-1708.
14. Моргун В.В., Якимчук Р.А. Генетичні наслідки аварії на Чорнобильській АЕС. – К.: Логос, 2010. – 400 с.
15. Нейфах Е.А. Большие радиопатогенные загрузки детей от «малых доз» техногенной хронической радиации // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2003. – **43**, № 3. – С. 193-196.
16. Пароконная Е. Кировоград – дорогой вымирающий город? // Новости Кировограда. – 2008. – 18 авг.
17. Суматохіна І.М., Дук Н.М., Шевченко О.А. Промислові відходи як чинник стану екологічної безпеки регіону: оцінка, картографування, управління // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 1. – С. 69-75.

ЦИТОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ  
РАДИАЦИОННЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ ТЕРРИТОРИЙ ОТХОДАМИ  
УРАНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*Р.А. Якимчук*

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

Проведен цитогенетический анализ меристематических клеток первичных корней озимой пшеницы, семена которой подвергали влиянию радиоактивных изотопов пылевой фракции отвалов Ингульской и Смолинской шахт, а также почвы, взятой из промышленной зоны и хвостохранилищ накопления отходов переработки урановой руды. Выявлено существенное увеличение частоты хромосомных aberrаций, среди которых преобладали ацентрические фрагменты и дицентрические мосты. Радиоизотопы пылевой фракции отвалов Смолинской шахты вызывали появление клеток с отстающими хромосомами, что свидетельствует о возможности индуцирования геномных мутаций. Учитывая реальность свободного переноса радиационно загрязненной пыли ветром, уранодобывающая промышленность может представлять генетическую угрозу и на прилегающих к промышленной зоне территориях.

## CITOGENETIC EFFECTS INDUCED RADIATION CONTAMINATION OF URANIUM EXTRACTS INDUSTRY

*R.A. Yakimchuk*

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

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

This paper represents the results of cytogenetic analysis of meristematic cells of primary roots of winter wheat plants. Seeds were exposed to radioactive isotopes of a dusty fraction from Ingulskaya and Smolinskaya mine dumps and soil sampled from the uranium ore processing waste industrial zone and tailing dumps. The significant increase in frequency of chromosomal aberrations comprising mostly of acentric fragments and dicentric bridges was observed. Treatment with radioisotopes of dusty fraction from Ingulskaya mine dumps resulted in the occurrence of cells with lagging chromosomes, thus indicating the possibility of genomic mutations. Taking into the account the chance of free aerial distribution of

radioactive contaminated dust, the uranium-mining industry may constitute a genetic threat to the organisms dwelling close to the industrial areas.

*Key words:* *Triticum aestivum* L., chromosomal aberrations, mutational changeability, ionizing radiation, mutagen activity.