

УДК 633.11:575.224.4

МУТАГЕННА АКТИВНІСТЬ РАДІОНУКЛІДНИХ ЗАБРУДНЕНЬ БЛИЖНЬОЇ ЗОНИ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ АЕС У ВІДДАЛЕНІ СТРОКИ ПІСЛЯ АВАРІЇ

В.В. МОРГУН, Р.А. ЯКИМЧУК

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

Вивчено генетичні наслідки хронічного опромінення рослин озимої пшениці в ближній зоні ЧАЕС через 25 років після аварії. Рівень мутаційної мінливості перевищує контрольні показники у 8,0–14,9 раза. Висока частота мутацій зберігається за умови зменшення потужності експозиційної дози в 6,9 раза (с. Копачі) й істотно не відрізняється від частоти мутацій, індукованих на територіях з найінтенсивнішим радіонуклідним забрудненням (села Чистоголівка, Янів). Тому в міру поступового зниження рівня радіоактивного забруднення можна і в подальшому очікувати збереження високого мутагенного ефекту опромінення. Спектр типів мутацій переважно включає мутації за тривалістю вегетаційного періоду, довжиною стебла, морфологією колоса. Хронічне випромінювання радіонуклідних забруднень зони відчуження ЧАЕС можна використовувати в селекційній практиці при створенні форм із множинними мутаціями й подальшим пошуком серед них рідкісних комбінацій селекційно-цінних ознак.

Ключові слова: *Triticum aestivum* L., радіонуклідне забруднення, хронічне опромінення, видимі мутації, типи мутацій.

Усі живі організми, у тому числі й людина, постійно зазнають впливу іонізуючого випромінювання від природних джерел. Використання енергії атома у військових і мирних цілях та пов'язані з цим як заплановані (випробування ядерної зброї), так і надзвичайні (аварії на атомних станціях) ситуації, призвели до того, що людина й біота часто зазнають хронічного впливу іонізуючого випромінювання вищої інтенсивності, ніж це зазвичай трапляється в природі. Істотно ускладнилася радіаційна ситуація і в Україні, на території якої в результаті розміщення потенційно небезпечних об'єктів і систем сформувалася низка регіонів з техногенно напруженим і навіть кризовим станом навколишнього середовища [3, 17, 19]. Серед них на особливу увагу заслуговує ближня зона аварії на Чорнобильській АЕС, яка за сумісної дії взаємопов'язаних змін багатьох умов відтворення популяцій та високого рівня радіоактивного забруднення досі залишається унікальною модельною системою для вивчення популяційно-генетичних перетворень [8]. До зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення належить територія площею близько 2600 км², на яку потрапила переважна більшість радіоактивних опадів з підвищеним питомим вмістом трансуранових елементів. Запаси основних радіологічно значущих радіонуклідів у компонентах її

наземних екосистем становлять, ПБк: ^{137}Cs — близько 5,5; ^{90}Sr — близько 2,5; трансуранових елементів — близько 0,1. В пунктах захоронення радіоактивних відходів і пунктах їх тимчасової локалізації сконцентровано, ПБк: ^{137}Cs — 4,5; ^{90}Sr — 3,5; трансуранових елементів — близько 0,2. В об'єкті «Укриття» локалізовано ^{137}Cs — 480 ПБк, ^{90}Sr — 260, трансуранових елементів — 10 ПБк [11, 21]. І хоча за роки, що минули з часу аварії на Чорнобильській АЕС, природні процеси, а також контрзаходи, спрямовані на зменшення радіоактивного забруднення довкілля, привели до істотного поліпшення радіологічної ситуації [6], за територіями зони відчуження і безумовного (обов'язкового) відселення продовжує зберігатись статус «забруднених» [12, 20].

Під час оцінювання можливих наслідків хронічного впливу іонізувального випромінювання на живі системи й розробки принципів радіаційного захисту біоти особливої актуальності набуває питання інтенсивності мутаційного процесу. Адже однією з найважливіших реакцій популяції на радіаційні впливи є збільшення генетичної та фенотипної мінливості [4, 7, 22]. Згідно з результатами досліджень останніх років, проведених у віддалені строки після аварії [7, 15, 28], хронічна дія іонізувального випромінювання навіть малої потужності здатна викликати різноманітні пошкодження генетичного характеру. З урахуванням того, що з приблизно 2060 р. основними дозоутворювальними елементами будуть довгоіснуючі трансуранові нукліди — америцій і плутоній — такого опромінення, за підрахунками різних спеціалістів, живі організми зазнаватимуть від 400 до кількох тисяч років [5, 9, 24].

Метою роботи було вивчення мутаційної мінливості озимої пшениці в умовах хронічного впливу радіонуклідного забруднення зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення у віддалені строки після аварії на Чорнобильській АЕС.

Методика

Мутагенну активність радіонуклідного забруднення зони відчуження та зони безумовного (обов'язкового) відселення (ЗВіЗБ(О)В) вивчали на озимій пшениці (*T. aestivum* L.) сортів Альбатрос одеський і Зимоярка. Дослідження проводили через 25 років після аварії на ЧАЕС у районах с. Чистоголівка (за 6 км від ЧАЕС), с. Копачі (до 4 км від ЧАЕС) і с. Янів (за 3 км від ЧАЕС) Чорнобильського р-ну Київської обл. Потужність експозиційних доз залежно від забрудненості радіонуклідами становила $(7,2 \dots 50,0) \cdot 10^{-12}$ А/кг. За контроль взято територію дослідного господарства Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (сmt Глеваха Васильківського р-ну Київської обл.), де потужність експозиційної дози становить $0,93 \cdot 10^{-12}$ А/кг і протягом багатьох років вивчається спонтанний рівень мутаційної мінливості рослин озимої пшениці (табл. 1).

Рослини озимої пшениці протягом усього вегетаційного періоду зазнавали хронічного опромінення від радіоактивних викидів. Відсутність β - і γ -активності вирощеного матеріалу вказувала на вплив лише зовнішньої дії радіації та відсутність інкорпорованих радіоактивних ізотопів. Перше покоління рослин (M_1) вирощували суцільним посівом на територіях, забруднених радіонуклідами. Рослини поколінь M_2 і M_3 зростали в умовах природного радіаційного фону (сmt Глеваха Васильківського р-ну Київської обл.). Їх вирощували чітко родинами,

МУТАГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

ТАБЛИЦЯ 1. Щільність забруднення ґрунту радіонуклідами (2011 р.)

Радіонуклід	Місце відбирання проб					
	с. Чистоголівка		с. Копачі		с. Янів	
	Бк/кг	кБк/м ²	Бк/кг	кБк/м ²	Бк/кг	кБк/м ²
¹³⁷ Cs	7013	526	3557	267	28000	2100
⁹⁰ Sr	789	59,20	1275	95,60	1067	80
²⁴¹ Am	129	9,64	46	3,44	147	11
²³⁹ Pu, ²⁴⁰ Pu	108	8,10	53	3,99	88	6,6
²³⁸ Pu	45	3,38	23	1,78	36	2,7

Примітка. Контроль — сумарна питома радіоактивність ґрунту смт Глеваха: 290 Бк/кг (21,8 кБк/м²).

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 M₃ після перевірки успадкування змінених ознак за співвідношенням кількості родин із мутантними рослинами до вивчених родин покоління M₂.

Результати та обговорення

Радіаційне опромінення рослин озимої пшениці впродовж усього вегетаційного періоду в межах території 10-кілометрової зони відчуження ЧАЕС спричинювало зростання рівня видимих мутацій, частота яких перевищувала контрольні показники (0,81±0,40 для сорту Альбатрос одеський та 0,58±0,33 % для сорту Зимоярка) в 8,0—14,9 раза (табл. 2). На територіях з найвищим рівнем радіонуклідного забруднення — с. Чисто-

ТАБЛИЦЯ 2. Частота видимих мутацій у рослин озимої пшениці поколінь M₂—M₃, індукованих радіонуклідним забрудненням зони відчуження ЧАЕС (2011—2012 рр.)

Варіант	Кількість вивчених родин, шт.	Кількість мутантних родин, шт.	Частота мутантних родин, %
Альбатрос одеський			
сmt Глеваха (контроль)	494	4	0,81±0,40
с. Чистоголівка	241	29	12,03±2,10*
с. Копачі	497	37	7,44±1,18*
Зимоярка			
сmt Глеваха (контроль)	522	3	0,58±0,33
с. Чистоголівка	413	29	7,02±1,26*
с. Копачі	345	16	4,64±1,13*
с. Янів	480	33	6,88±1,16*

*Різниця відносно контролю статистично вірогідна за p ≤ 0,01.

галівка (потужність експозиційної дози — $28,7 \cdot 10^{-12}$ А/кг) і с. Янів (потужність експозиційної дози — $50,0 \cdot 10^{-12}$ А/кг) спостерігали максимальну частоту мутацій, що становила $12,03 \pm 2,10$ % для сорту Альбатрос одеський і $6,88 \pm 1,16$ % та $7,02 \pm 1,26$ % відповідно для сорту Зимоярка. При цьому різниця потужностей експозиційних доз ($21,3 \cdot 10^{-12}$ А/кг) не супроводжувалась істотною відмінністю частоти мутацій, що можна пояснити індукуванням тривалою дією високих доз радіації низки нежиттєздатних мутантів, які внаслідок елімінації не були враховані в загальному показнику частоти мутацій [1, 16, 23]. На думку Позолотіної [18], протягом онтогенезу фіксують кілька етапів завад для подальшого існування пошкоджених гамма-випромінюванням організмів: 1) початок функціонування меристематичних тканин; 2) гаметогенез, що збігається з фазою цвітіння; 3) стадія формування зародка. Всі існуючі бар'єри не гарантують повного зникнення змін, спричинених гамма-випромінюванням у наступних поколіннях, але їх подолання є необхідною умовою для збереження й передачі повноцінної генетичної інформації потомству.

Потужність експозиційної дози на дослідній ділянці, розміщеній у с. Копачі ($7,2 \cdot 10^{-12}$ А/кг), виявилась найнижчою та поступалася в 4,0—6,9 раза потужностям експозиційних доз у межах сіл Чистогогалівка і Янів. Проте навіть за умов вирощування озимої пшениці на території с. Копачі зафіксовано високий рівень мутаційної мінливості ($7,44 \pm 1,18$ % для рослин сорту Альбатрос одеський і $4,64 \pm 1,13$ % для рослин сорту Зимоярка), який перевищував контрольні показники в 9,2 та 8,0 раза й істотно не відрізнявся від частоти мутацій, індукованих радіонуклідним забрудненням на територіях сіл Чистогогалівка і Янів. Зниження мутагенних ефектів за високих рівнів радіоактивного забруднення виявлено також у природних популяціях арабідопсису [1], що пов'язують зі зменшенням ефективності репарації ДНК, яке торкається і SOS-репарації, що в кінцевому результаті призводить до відносного зниження мутагенезу на високих рівнях радіоактивного забруднення. Про протилежну залежність ефекту від дози опромінення свідчать і результати досліджень, проведених на озимій пшениці [14]. Тому в міру поступового зниження рівня радіоактивного забруднення території ЗВіЗБ(О)В варто і в подальшому очікувати збереження високого мутагенного ефекту опромінення.

Спектр мутацій, спричинених тривалою дією випромінювання радіонуклідних забруднень ближньої зони ЧАЕС через 25 років після аварії, включав 12—20 типів і залежав як від щільності забруднення ґрунту й потужності експозиційної дози опромінення, так і від генотипу рослин озимої пшениці. Ширину спектра прийнято визначати за кількістю типів мутантів, які несуть мутаційні зміни [27]. Перелік типів мутацій у поколіннях M_2 — M_3 рослин озимої пшениці наведено нижче.

Тип мутації

- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1. Ранньостиглі | 8. Короткий колос |
| 2. Середньоранні | 9. Крупний колос |
| 3. Пізньостиглі | 10. Щільний колос |
| 4. Інтенсивний ріст | 11. Нещільний колос |
| 5. Високорослі | 12. Циліндричний колос |
| 6. Низькорослі | 13. Скверхедний колос |
| 7. Довгий колос | 14. Спельтоїдний колос |

Тип мутації	
15. Еректоїдний колос	22. Червоні пиляки
16. Напівстерильний колос	23. Широкий листок
17. Безостий колос	24. Вузкий листок
18. Напівостистий колос	25. Антоціановий листок
19. Остистий колос	26. Світло-зелений листок
20. Сизий колос	27. Відсутність воскової поволоки
21. Антоціанові ості	

Переважали серед них мутації за тривалістю вегетаційного періоду, довжиною стебла, морфологією колоса, наявністю чи відсутністю його остистості (рис. 1, 2). Так, на усіх досліджених територіях за дії підви-

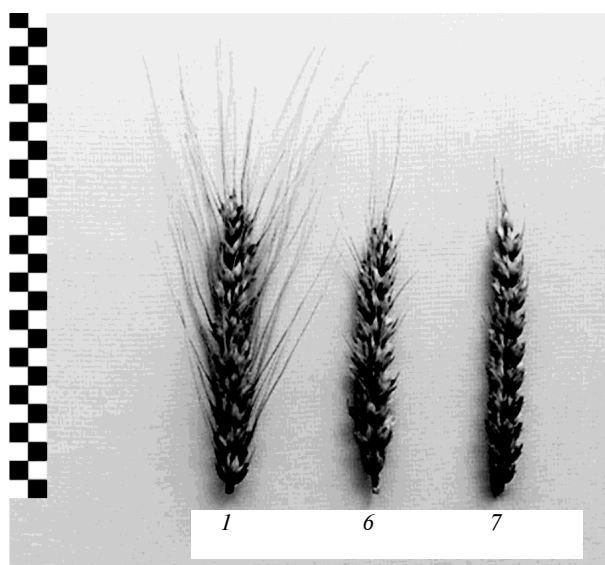
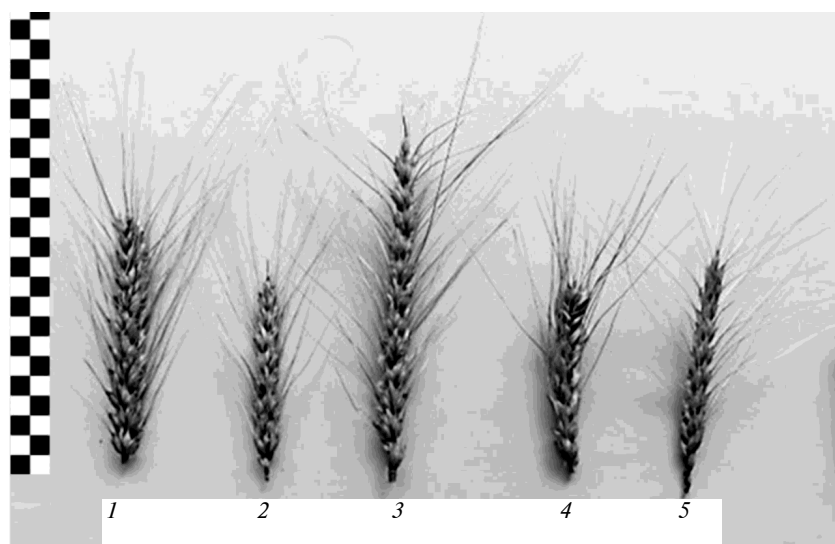


Рис. 1. Мутанти за морфологією колоса озимої пшениці сорту Альбатрос одеський:

1 — вихідна форма; 2 — короткий колос; 3 — довгий колос; 4 — скверхедний колос; 5 — спельтоїдний колос; 6 — напівостистий колос; 7 — безостий колос



Рис. 2. Мутанти за морфологією колоса озимої пшениці сорту Зимолярка:

1 — вихідна форма; 2 — довгий колос; 3 — короткий щільний колос; 4 — скверхедний колос

щеного радіаційного фону з високою частотою траплялися пізньостиглі, низькорослі форми, мутанти зі щільним, скверхедним колосом (відповідно 0,60—2,91; 2,42—2,49; 0,81—1,66; 0,20—0,83 % у сорту Альбатрос одеський та 1,21—2,92; 2,03—2,29; 0,83—2,32; 0,42—0,87 % у сорту Зимолярка). Високорослі мутанти і мутанти, що інтенсивно росли, хоча й не були виключно типовими наслідками впливу хронічного опромінення радіонуклідного забруднення в межах ЗВіЗБ(О)В, однак частота їх виникнення істотно перевищувала контрольні показники (відповідно 3,22—5,81; 1,81—2,91 % у сорту Альбатрос одеський і 0,29—1,94; 0,29—1,70 % у сорту Зимолярка). Мутації короткий, нещільний, напівстерильний колос переважно траплялися за умов хронічного опромінення рослин озимої пшениці на територіях з найвищою щільністю забруднення ґрунту радіонуклідами — у селах Чистоголівка і Янів, а статистично вірогідне зростання частоти мутації довгий колос (0,81 % у сорту Альбатрос одеський) зафіксовано в умовах найменшої щільності забруднення радіонуклідами — в с. Копачі (див. рис. 1).

Окремі типи мутацій мали сортоспецифічний характер прояву, а частота, з якою вони траплялися, не залежала від щільності радіонуклідного забруднення. Так, мутації сизий колос, антоціанові листки виявлено лише серед родин рослин сорту Альбатрос одеський із частотою відповідно 1,01—1,25; 0,20—0,83 і 0,40—1,66 %. Прояв антоціанового забарвлення на різних органах рослин у процесі онтогенезу — це реакція рослин на несприятливі абіотичні й біотичні чинники середовища, яка може корелювати з рівнем радіонуклідного забруднення і ступенем адаптації до іонізуючого опромінення [10]. Червоне забарвлення у рослин контролюється низкою генів: *Rc* детермінує забарвлення колеоптилю, *Ra* — забарвлення основи листка і вушок листкової піхви, *Rap* — пиляків у фазу цвітіння, *Rc* — стебла в початковий період дозрівання зерна, *Rg* і *R* — лусок колоса й зерна [13]. Середньоранні мутанти характерні для сорту Зимолярка, вони фіксувалися з частотою 0,19—0,63 %.

Серед типів мутацій озимої пшениці сорту Альбатрос одеський, індукованих радіонуклідним забрудненням території с. Чистоголівка, виділено низку оригінальних видимих спадкових змін. Серед них спельтоїдний колос (0,42 %) (див. рис. 1), червоні пиляки (0,42 %), широкий (0,83 %), вузький (0,42 %) і світло-зелений (0,83 %) листок. Мутація еректоїдний колос (0,20 %) виявлена у цього ж сорту, але в умовах впливу радіонуклідного забруднення території с. Копачі. На думку Ейгес [26], поява різких мутантів зі скверхедним, спельтоїдним і еректоїдним колосом пов'язана з делецією, делецією-дуплікацією, транслокацією, мікроабераціями в п'ятій хромосомі геному А, в якій знаходиться локус Q. Його делеція, ймовірно, і визначає ознаки спельтоїдності. Скверхеда зумовлені дуплікаціями, транслокаціями, мікроабераціями, що пов'язані зі збільшенням дози локусу Q, а також із трисомією за хромосомою 5A. Еректоїди виникають унаслідок моносомії, але відсутня хромосома не ідентифікована [26]. У рослин озимої пшениці сорту Зимоярка підвищений радіаційний фон забруднених територій індукував значно вужчий спектр мутантних типів. Серед них нетиповою виявилась мутація відсутність воскової поволоки (0,20 %), спричинена радіаційним впливом, сформованим на території с. Копачі.

Проаналізувавши спектр типів видимих мутацій у поколіннях рослин M_2 — M_3 , ми знайшли родини та окремі зразки з множинними комбінаціями нововиявлених ознак (табл. 3). Серед них виділено форми високорослі, з інтенсивним ростом та широкими листками; високорослі, пізньостиглі, з інтенсивним ростом, світло-зеленими листками та нещільним колосом; високорослі, пізньостиглі, зі світло-зеленими вузькими листками та червоними пиляками; низькорослі, безості, з коротким щільним колосом у сорту Альбатрос одеський (див. рис. 1) та високорослі, ранньостиглі, з інтенсивним ростом; пізньостиглі, зі щільним циліндричним чи коротким колосом та відсутністю воскової поволоки; ранньостиглі, з напівостистим нещільним колосом; низькорослі, пізньостиглі, зі скверхедним колосом у сорту Зимоярка (див. рис. 2). Створенням множинних мутацій вдається подолати деякі небажані зв'язки між ознаками і водночас поєднати в одному мутанті складнопоєднані ознаки [27]. Також доведено, що опромінення гібридних популяцій рослин озимої пшениці підвищує ймовірність успішного добору рекомбінантів зі сприятливішим поєднанням корисних ознак, ніж у випадку зі звичайними гібридними популяціями [25].

Отже, незважаючи на істотне поліпшення радіологічної ситуації на території ЗВіЗБ(О)В, рівень мутаційної мінливості озимої пшениці в ближній зоні ЧАЕС навіть через 25 років після аварії перевищує контрольні показники (0,81±0,40 % для сорту Альбатрос одеський та 0,58±0,33 % для сорту Зимоярка) у 8,0—14,9 раза. На територіях із найвищим рівнем радіонуклідного забруднення (села Чистоголівка і Янів) частота мутацій максимальна — 12,03±2,10 % у сорту Альбатрос одеський і 6,88±1,16 та 7,02±1,26 % у сорту Зимоярка. Високий рівень мутаційної мінливості озимої пшениці зберігається й у разі зниження потужності експозиційної дози в 6,9 раза (територія с. Копачі) та, перевищуючи контрольні показники відповідно в 9,2 та 8,0 раза, не відрізняється від частоти мутацій, індукованих радіонуклідним забрудненням територій сіл Чистоголівка і Янів. Тому в міру поступового зниження рівня радіоактивного забруднення в ЗВіЗБ(О)В можна і в подальшому очікувати збереження високого мутагенного ефекту опромінення.

ТАБЛИЦЯ 3. Спектр мутацій (%) озимої пшениці (M_2 — M_3), вирощеної в зоні відчуження ЧАЕС (2011—2012 рр.)

Тип мутації	Альбатрос одеський			Зимоярка			
	сmt Глеваха (контроль)	с. Чистоголівка	с. Копачі	сmt Глеваха (контроль)	с. Чистоголівка	с. Копачі	с. Янів
1	0,20	0	1,01 ^{*1}	0	0,73	1,45 ^{*2, *3}	0
2	0	0	0	0,19	0,48	0	0,63
3	0	2,91 ^{*2}	0,60 ^{*1}	0	1,21 ^{*2}	1,45 ^{*2}	2,92 ^{*2}
4	0	2,91 ^{*2}	1,81 ^{*2}	0,19	1,70 ^{*2}	0,29 ^{*1}	0,63
5	0,61	5,81 ^{*2}	3,22 ^{*2}	0,19	1,94 ^{*2}	0,29 ^{*1}	1,04
6	0	2,49 ^{*2}	2,42 ^{*2}	0	2,18 ^{*2}	2,03 ^{*2}	2,29 ^{*2}
7	0	1,25	0,81 ^{*2}	0	0	0,29	0,42
8	0	1,25	0,20	0	0	0,87	0,83 ^{*2}
9	0	0,42	0,60	0	0,24	0	0
10	0	1,66 ^{*2}	0,81 ^{*2}	0	0,97 ^{*2}	2,32 ^{*2}	0,83 ^{*2}
11	0	2,08 ^{*2}	0	0	0,24	0,29	0,21
12	0	0	0,40	0	0,24	0,58	0,63
13	0	0,83	0,20	0	0	0,87	0,42
14	0	0,42	0	0	0	0	0
15	0	0	0,20	0	0	0	0
16	0	0,42	0	0	0,24	0	0
17	0	0,42	0,20	0	0	0	0
18	0	0	0,20	0	0,24	0,58	0,42
19	0	0	0	0	0	0	0,21
20	0	1,25	1,01 ^{*2}	0	0	0	0
21	0	1,66 ^{*2}	0,40	0	0	0	0
22	0	0,42	0	0	0	0	0
23	0	0,83	0	0	0	0	0
24	0	0,42	0	0	0	0	0
25	0	0,83	0,20	0	0	0	0
26	0	0,83	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0,58	0
Число мутантних типів	2	20	17	3	12	13	13

*¹Різниця відносно варіанта с. Чистоголівка статистично вірогідна за $p \leq 0,01$.

*²Різниця відносно контролю статистично вірогідна за $p \leq 0,05$.

*³Різниця відносно варіанта с. Янів статистично вірогідна за $p \leq 0,01$.

Спектр мутацій, спричинених тривалою дією випромінювання радіонуклідного забруднення ближньої зони ЧАЕС, включає 12—20 типів і залежить як від щільності забруднення ґрунту й потужності експозиційної дози опромінення, так і від генотипу рослин озимої пшениці. Переважали серед них мутації за тривалістю вегетаційного періоду, до-

вжиною стебла, морфологією колоса. Хронічне випромінювання радіонуклідного забруднення зони відчуження ЧАЕС можна використувати в селекційній практиці при створенні форм з множинними мутаціями та подальшим пошуком серед них рідкісних комбінацій селекційно-цінних ознак.

1. *Абрамов В.И., Рубанович А.В., Шевченко В.А.* Генетические эффекты малых доз хронического облучения формирующихся семян // Генетика. — 2005. — **41**, № 9. — С. 1244—1250.
2. *Абрамов В.И., Рубанович А.В., Шевченко В.А. и др.* Генетические эффекты в популяциях растений, произрастающих в зоне Чернобыльской аварии // Радиационная биология. Радиэкология. — 2006. — **46**, № 3. — С. 259—267.
3. *Балюк Г.І.* Екологічне право України. Конспект лекцій у схемах (загальна і особлива частина): Навч. посібник. — К.: Хроніком Інтер, 2006. — 192 с.
4. *Болтина И.В.* Использование показателя «частота аберраций хромосом» при формировании групп риска относительно онкологических заболеваний // Цитология и генетика. — 2007. — **41**, № 1. — С. 66—74.
5. *Бондаренко О.А., Мельничук Д.В., Цыганков Н.Я.* Прогноз формирования доз от трансураниевых элементов для населения Украины // Пятнадцать років Чернобыльської катастрофи. Досвід подолання (18—20 квітня 2001, Київ): Зб. тез. — Ч. 2. — К., 2001. — С. 25.
6. *Буча В.* Радіація потроху відступає // Урядовий кур'єр. — 26 квітня 2013 р.
7. *Гераськин С.А., Ванина Ю.С., Дикарев В.Г. и др.* Генетическая изменчивость в популяциях сосны обыкновенной из районов Брянской области, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Радиационная биология. Радиэкология. — 2009. — **49**, № 2. — С. 136—146.
8. *Глазко Т.Т., Гродзинский Д.М., Глазко В.И.* Хроническое низкодозовое облучение и полифакторность адаптации // Там же. — 2006. — **46**, № 4. — С. 488—493.
9. *Гудков И.Н.* Современные задачи и проблемы сельскохозяйственной радиэкологии // Агроекол. журн. — 2005. — № 3. — С. 22—26.
10. *Гуца Н.И., Перковская Г.Ю., Дмитриев А.П., Гродзинский Д.М.* Влияние хронического облучения на адаптивный потенциал растений // Радиационная биология. Радиэкология. — 2002. — **42**, № 2. — С. 155—158.
11. *Иванов Ю.А., Паскевич С.А.* Некоторые нерешенные радиэкологические проблемы зоны отчуждения ЧАЭС // Агроекол. журн. — 2005. — № 3. — С. 26—31.
12. *Йощенко В.И., Бондарь Ю.О.* Дозовая зависимость частоты морфологических изменений у сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в Чернобыльской зоне отчуждения // Радиационная биология. Радиэкология. — 2009. — **49**, № 1. — С. 117—126.
13. *Лайкова Л.И., Арбузова В.С., Ефремова Т.Т., Попова О.М.* Генетический анализ антоциановой окраски стебля и пыльников у растений мягкой пшеницы // Генетика. — 2005. — **41**, № 10. — С. 1428—1433.
14. *Моргун В.В., Якимчук Р.А.* Генетичні наслідки аварії на Чернобыльській АЕС. — К.: Логос, 2010. — 400 с.
15. *Официров М.В., Игонина Е.В.* Генетические последствия радиационного воздействия на популяцию сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Генетика. — 2009. — **45**, № 2. — С. 209—214.
16. *Палыга Г.Ф., Чибисова О.Ф.* Последствия для потомства двух поколений облучения беременных самок-крыс Вистар в малых дозах в период закладки репродуктивной системы плодов. Развитие потомства первого поколения // Радиационная биология. Радиэкология. — 2003. — **43**, № 4. — С. 439—442.
17. *Пилинская М.А., Шеметун А.М., Дыбский С.С. и др.* Результаты 25-летнего селективного цитогенетического мониторинга критических групп населения Украины, пострадавших от действия факторов Чернобыльской аварии // Фактори експериментальної еволюції організмів. — Т. 10. — К.: Логос, 2011. — С. 133—138.
18. *Позолотина В.Н.* Отдаленные последствия действия радиации в чреде поколений у растений-апомиктов // Радиационная биология. Радиэкология. — 2003. — **43**, № 4. — С. 443—451.
19. *Рожеко М.М., Ерстенюк Г.М., Крижанівська А.Є. та ін.* Розробка та впровадження системи зменшення техногенного навантаження на території і населення екологічно кризових регіонів України. — 25 березня 2014 р. — <http://www.kdpu-nt.gov.ua/work/rozrobka-ta-vprovadzhennya-sistemi-zmenshennya-tehnogennogo-navantazhennya-na-teritoriyi-i?page=2>.

20. Седлорова О. Фукусіма—Чернобыль: спільні роботи японських та українських дослідників // Світ. — Серпень 2013 р. — № 29—30.
21. Спиридонов С.И., Алексахин Р.М., Фесенко С.В., Санжарова Н.И. Чернобыль и окружающая среда // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2007. — 47, № 2. — С. 196—203.
22. Сытин В.Д., Осипов А.Н., Елаков А.Л. и др. Оценка генетических эффектов хронического воздействия низкоинтенсивного γ -излучения цитогенетическими методами и методом ДНК-комет // Радиационная биология. Радиоэкология. — 2003. — 43, № 2. — С. 156—160.
23. Сычева Л.П., Журков В.С., Рахманин Ю.А. Актуальные проблемы генетической токсикологии // Генетика. — 2013. — 49, № 3. — С. 293—302.
24. Терещенко Н.Н. Аккумуляция изотопов плутония гидробионтами Черного моря // Тез. докл. V съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность) (10—14 апр. 2006, Москва). — Т. 2. — М., 2006. — С. 148.
25. Хоменко С.О., Чугункова Т.В. Варіювання висоти рослин озимої м'якої пшениці у гібридно-мутантних популяціях // Физиология и биохимия культ. растений. — 2008. — 40, № 1. — С. 42—48.
26. Эйгес Н.С. Коллекция хемомутантов озимой пшеницы // Природа. — 1997. — № 1. — С. 26—35.
27. Эйгес Н.С., Кузнецова Н.Л., Волченко Г.А. и др. Множественные мутации озимой пшеницы, определяющие хозяйственно-ценные признаки // Вісн. УТГіС. — 2009. — 7, № 2. — С. 269—275.
28. Якимчук Р.А., Моргун В.В., Логвиненко В.Ф. Генетические последствия радионуклидного загрязнения зоны отчуждения через 13 лет после аварии на Чернобыльской АЭС // Физиология и биохимия культ. растений. — 2001. — 33, № 3. — С. 226—231.

Отримано 10.09.2015

МУТАГЕННАЯ АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС В ОТДАЛЕННЫЕ СРОКИ ПОСЛЕ АВАРИИ

В.В. Моргун, Р.А. Якимчук

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины, Киев

Изучены генетические последствия хронического облучения растений озимой пшеницы в ближней зоне ЧАЭС через 25 лет после аварии. Уровень мутационной изменчивости превышает показатели контроля в 8,0—14,9 раза. Высокая частота мутаций сохраняется в условиях снижения мощности экспозиционной дозы в 6,9 раза (с. Копачи) и существенно не отличается от частоты мутаций, индуцированных на территориях с наиболее интенсивным радионуклидным загрязнением (села Чистоголовка, Янов). Поэтому по мере постепенного снижения уровня радиоактивного загрязнения можно и в дальнейшем ожидать сохранения высокого мутагенного эффекта облучения. Спектр типов мутаций преимущественно включает мутации по длительности вегетационного периода, длине стебля, морфологии колоса. Хроническое излучение радионуклидных загрязнений зоны отчуждения ЧАЭС можно использовать в селекционной практике при создании форм с множественными мутациями и дальнейшим поиском среди них редких комбинаций селекционно-ценных признаков.

MUTAGENIC ACTIVITY OF RADIONUCLIDE CONTAMINATION OF A NEAR ZONE OF CHORNOBYL NUCLEAR POWER PLANT (ChNPP) IN LONG TERMS AFTER THE ACCIDENT

V.V. Morgun, R.A. Yakimchuk

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

Genetic consequences of chronic irradiation of winter wheat in a near zone of ChNPP in 25 years after the accident were studied. The level of mutative variability exceeds control indicators by 8,0–14,9 times. High frequency of mutations remains provided power level of exposure rate decreases by 6,9 times (village of Kopachi), but it does not significantly differ from the frequency of mutations induced on the territories with the most intensive radionuclide contamination — villages of Chystohalivka and Yaniv. Thus, as the level of radionuclide contamination gradually decreases, a high mutative effect of radiation will most likely remain. The spectrum of mutation types includes mutation by the duration of a growing season, a stem length, ear morphology. Chronic radiation of radionuclide contamination of an exclusion zone of ChNPP can be used in plant breeding to develop forms with multiple mutations and to further search for rare combinations of valuable breeding features among them.

Key words: *Triticum aestivum* L., radionuclide contamination, protracted irradiation, visible mutations, mutation types.