https://doi.org/10.15407/frg2022.01.065
УДК 575.24:631.528:633.15

ПОЛІПШЕННЯ ГОСПОДАРСЬКО-КОРИСНИХ ОЗНАК ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ЗА ДІЇ ТЕХНОГЕННИХ МУТАГЕННИХ ЧИННИКІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Р.А. ЯКИМЧУК

Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
e-mail: peoplenature16@gmail.com

На техногенно забруднених територіях сформувалися унікальні умови впливу на живі організми фізичних і хімічних мутагенних чинників, які можуть бути використані для індукування мутацій та створення вихідного селекційного матеріалу при поліпшенні сортів рослин. За дії на озиму пшеницю радіонуклідних забруднень зони відчуження Чорнобильської АЕС та території видобутку і переробки уранової руди, важких металів викидів промислових підприємств, ксенобіотиків територій сховищ заборонених і непридатних до використання пестицидів, виявлено порівняно зі спонтанними показниками зростання частоти селекційно-цінних мутацій в 2,1—35,4 раза. Розширення генетичної різноманітності вихідного селекційного матеріалу за рахунок індукованого радіонуклідним і хімічним забрудненням мутагенезу перспективне для використання у схрещуваннях з метою реалізації селекційно-генетичних програм створення високопродуктивних сортів пшениці з підвищеним адаптивним потенціалом до несприятливих умов навколишнього середовища. Виділено продуктивні мутанти, які за врожайністю перевищують вихідні сорти на 1,1—12,6 %. У більшості з них показники вмісту білка і клейковини в зерні, показник седиментації та твердозерність відповідають рівню вихідного сорту або істотно йому поступаються. Виявлено мутантні зразки № 5561 сорту Альбатрос одеський та № 5575 сорту Зимоярка, індуковані забрудненням викидів Бурштинської ТЕС і радіонуклідами зони відчуження ЧАЕС, підвищена врожайність яких супроводжується істотним зростанням або збереженням на рівні вихідного сорту показників якості зерна. Мутантні зразки № 5576, № 5577, № 5578, № 5580 сорту Зимоярка, що індуковані забрудненням ґрунту радіонуклідами зони відчуження ЧАЕС та важкими металами викидів промислових підприємств, за рахунок зростання вмісту білка в зерні або підвищеної врожайності продукують істотно вищий вихід протеїну з одиниці площі. Використання дії техногенних мутагенних чинників навколишнього середовища дасть змогу поліпшувати показники якості зерна пшениці, зберігаючи при цьому потенціал урожайності вихідного сорту.

Ключові слова: *T. aestivum* L., мутагенні чинники, селекційно-цінні мутації, продуктивні мутанти, якість зерна, білкова продуктивність.

Цитування: Якимчук Р.А. Поліпшення господарсько-корисних ознак озимої пшениці за дії техногенних мутагенних чинників навколишнього середовища. *Фізіологія рослин і генетика*. 2022. **54**, № 1. С. 65—84. https://doi.org/10.15407/frg2022.01.065

Пшениця є одним із головних злаків планети і відіграє провідну роль у харчовому забезпеченні людства. Завдяки високій екологічній пластичності її посіви займають 222 млн га, що становить близько 17 % угідь, а виробництво зерна у 2021 р. оцінено в 769,6 млн т. Вона є основним продуктом харчування для 40 % населення світу та забезпечує його 19 % калорій [1, 2]. Проте середньорічні темпи виробництва зерна значно відстають від темпів зростання чисельності населення планети, яке, за прогнозами, до 2050 р. становитиме 9,1 млрд, а потреба в їжі збільшиться на 70 %. Згідно з прогнозами FAO, для задоволення базових продовольчих потреб людини в найближчі 10 років необхідно підвищувати врожайність пшениці більш ніж на 5 ц/га щорічно [4, 5].

Резервом підвищення виробництва зерна пшениці є створення шляхом селекції на основі сучасних генетичних впроваджень нових високоврожайних сортів, адаптованих до несприятливих умов навколишнього середовища. Узагальнення наукових досліджень і практичного досвіду доводить, що вклад генотипу в приріст урожайності становить 50—60 % потенціалу продуктивності нових сортів [6]. Інтенсивна селекція, яка спрямована на підвищення врожайності з використанням тих самих донорів господарсько-цінних ознак, призвела до значного збідніння генофонду пшениці [7], що спонукало в останні десятиліття до масштабних пошуків науковцями нових джерел вихідного матеріалу з використанням сучасних молекулярно-генетичних, біохімічних і технологічних підходів [8]. Це свідчить про необхідність інтенсифікації селекції через розширення генетичного різноманіття і впровадження в селекційний процес новітніх досягнень геноміки, протеоміки і метаболоміки, генетично модифікованих технологій, TILLING-технології цілеспрямованих мутацій, CRISPR/Cas-системи редагування геномів, DArT-системи молекулярних маркерів у селекції тощо [3, 9, 10, 11].

Ще одним важливим напрямом у селекції пшениці є поліпшення якості зерна, що визначається вмістом білків, сирої клейковини, крохмалю, жирів, цукрів, незамінних амінокислот, вітамінів, мінеральних сполук і тісно пов'язана з такими ознаками, як продуктивність, тривалість вегетаційного періоду, стійкість до хвороб і шкідників. Вміст білка в зерні є першим показником, що лімітує як харчові, так і технологічні характеристики зерна, зокрема і хлібопекарські властивості борошна [12]. В Україні виробляють лише 10—12 % продовольчої пшениці, решта — кормова [13]. Тому створення високоврожайних і високоякісних сортів є пріоритетним завданням державного рівня сучасної селекції пшениці.

Дослідження останніх років переконливо демонструють, що використання індукованого мутагенезу відкриває великі можливості для прогресу селекції, кардинального генетичного поліпшення культурних рослин [14]. На сьогодні метод експериментального мутагенезу застосовують з різними селекційними цілями: одержання макро- і мікромутацій якісних та кількісних ознак для добору чи прямого практичного використання, подолання несхрещуваності віддалених форм, вплив на кросинговер у гібридів, пригнічення реакції самоне-

сумісності в рослин-перехресників, індукування поліплоїдії тощо [15]. У мутагенезі виникають можливості змін напряму та характеру генетично зумовлених кореляційних зв'язків, зокрема і при перенесенні мутантного гена до нового генетичного середовища [16]. Сучасні дослідження спрямовані на підвищення ефективності індукування різноманітних оригінальних і селекційно-цінних мутантів, а також створення принципових джерел рослин з високими продуктивністю, урожайністю, якістю зерна та стійкістю до біотичних й абіотичних чинників навколишнього середовища [17].

Для створення сортів пшениці, які б об'єднували максимальну продуктивність, якість зерна та здатність протидіяти лімітуючим чинникам, необхідно постійно відшуковувати нові джерела мутагенів і чинники впливу на вихідний матеріал з метою збагачення генофонду пшениці. Особливої актуальності набув пошук методичних підходів підвищення частоти і розширення спектра мутацій, можливостей одержання з високою частотою мутацій за господарсько- і селекційно-цінними ознаками [18]. З огляду на це сьогодення позначено активним пошуком нових мутагенів та умов їх впливу, які б викликали високий рівень керованої селекціонером мінливості, суттєво зменшували рівень депресії у рослин і мали меншу собівартість [6]. Поряд із лазерними променями, опроміненням іонами азоту, вуглецю, використанням умов космічного простору [14, 19—21] постало питання ефективності застосування комплексу мутагенних чинників навколишнього середовища, що сформувалися на техногенно забруднених територіях. У цьому аспекті важливими стали дослідження генетичних наслідків радіонуклідного забруднення у 30-кілометровій зоні відчуження Чорнобильської АЕС на прикладі озимої пшениці [22, 23]. У результаті вивчення мутантних ліній, індукованих радіонуклідним забрудненням навколишнього середовища, було продемонстровано можливість їх використання в селекційному процесі та, як результат, створено на їх основі високопродуктивні, зимостійкі сорти сильної пшениці Царівна, Лісова пісня, Романтика, Відрада [24]. Тому на рівні із Чорнобильською зоною відчуження території локального й масштабного антропогенного забруднення, спричиненого урановидобувною промисловістю, викидами теплових електростанцій, промислових підприємств, складуванням пестицидів і токсичних відходів з неконтрольованим розповсюдженням можуть мати унікальні умови впливу мутагенних чинників та потребують вивчення можливості їхнього використання при створенні вихідного матеріалу для селекції озимої пшениці.

Метою досліджень було вивчити частоту і спектр селекційно-цінних мутацій в *Triticum aestivum* L. за впливу техногенних мутагенних чинників навколишнього середовища та проаналізувати врожайність і окремі показники якості зерна у виділених продуктивних мутантних ліній.

Методика

Рослини озимої пшениці сортів Альбатрос одеський і Зимоярка протягом року вирощували у ближній зоні відчуження Чорнобильської

АЕС в межах сіл Чистогалівка, Копачі, Янів Чорнобильського р-ну Київської обл. (потужність експозиційних доз залежно від забрудненості радіонуклідами становила 7,2—50,0 • 10^{-12} А/кг), на території промислових зон Смолінської, Інгульської шахт ДП «Східний гірничозбагачувальний комбінат» (Схід ГЗК) і хвостосховища «Сухачівське, секція 1» ВО «Придніпровський хімічний завод» (ПХЗ) (потужність експозиційних доз становила 5,02—35,85 • 10^{-12} А/кг), у місцях інтенсивного використання чи масового зберігання заборонених і непридатних до використання отрутохімікатів: с. Джурин Шаргородського р-ну Вінницької обл., за 5 км від станції «Затишшя» Ширяївського р-ну Одеської обл., старий яблуневий сад Інституту зрошуваного садівництва ім. М.Ф. Сидоренка НААН України (м. Мелітополь Запорізької обл.), вапняковий кар'єр «Алтестове» (с. Алтестове Біляївського р-ну Одеської обл.), полігон токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев» (м. Калуш Івано-Франківської обл.) (сумарні концентрації ксенобіотиків у ґрунті перевищували ГДК у 5—18350 разів), за 5 км від Бурштинської ТЕС по осі перенесення повітряних мас та в межах промислових зон ВАТ «Полтавхіммаш» м. Полтава, ДВК «Спеціалізований завод з термічної переробки твердих побутових відходів» (ДВК «СЗТПТПВ») м. Харків, ЗАТ «Луганські акумулятори» м. Луганськ, КП «Лубниводоканал» м. Лубни та поблизу вул. Б. Хмельницького м. Костянтинівка Донецької обл. (концентрації рухомих форм важких металів (Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Mn) у ґрунті перевищували ГДК в 1,2—40,9 раза). Рослини поколінь M_2 і M_3 зростали на полях дослідного сільськогосподарського виробництва (смт Глеваха Васильківського р-ну Київської обл.) Інституту фізіології рослин і генетики НАН України.

Посів покоління рослин M_2 проводили чітко за родинами, вважаючи родиною покоління одного колоса. Насіння родин висівали вручну в рядки завдовжки 1,5 м з шириною міжрядь 15 см. Індивідуальний посів за типом колос-ряд використовувався для чіткого, ретельного та досить легкого добору змінених рослин і родин у M_2. Частоту і спектр мутацій обліковували лише з покоління M_3 після перевірки успадкування змінених ознак за співвідношенням кількості родин із мутантними рослинами до вивчених родин покоління M_2. Селекційно-цінними мутаціями вважали спадкові зміни, що сприяють підвищенню врожайності, поліпшенню якості зерна та стійкості рослин до шкодочинних абіотичних і біотичних чинників навколишнього середовища. Рівень індукування селекційно-цінних мутацій визначали за співвідношенням кількості виявлених селекційно-цінних мутаційних змін до загальної кількості вивчених родин у M_2 та за їх часткою від загальної кількості виявлених мутаційних змін.

У M_2 інтенсивність вияву селекційно-цінних ознак оцінювали лише візуально. Після збирання в лабораторних умовах проводили оцінювання за коефіцієнтом господарської придатності, який визначається як співвідношення маси обмолоченого зерна рослин однієї родини до їх загальної надземної маси. Кращі з точки зору господарського значення гомозиготні родини з M_2 висівали в розсаднику

контрольного випробування на ділянках площею 10 м^2 в одній повторності. Виділені мутантні форми з найбільш цінними господарськими характеристиками вивчали впродовж двох років у розсаднику попереднього випробування у трикратній повторності. У схемах посіву випробовували для порівняння продуктивні стандарти — районовані сорти озимої пшениці Ятрань 60 і Смуглянка.

Якість зерна визначали за такими параметрами: вміст білка в зерні, вміст клейковини в зерні, показники твердозерності та SDS-30. Аналіз проводили в лабораторії якості зерна Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Зерно масою 50 г розмелювали на лабораторному млині Perten LM 3100 (Швеція). Загальний вміст білка, клейковини і твердозерність аналізували методом інфрачервоної спектроскопії (NIR) на приладі Perten Informatic 8600 (Швеція). Показник седиментації SDS-30 визначали згідно з методиками і рекомендаціями, розробленими в Селекційно-генетичному інституті— Національному центрі насіннєзнавства і сортовивчення НААН України [25]. Статистичний аналіз експериментальних даних здійснювали загальноприйнятими методами [26], достовірність різниці оцінювали за критерієм Стьюдента.

Результати та обговорення

При вивченні частоти і спектра мутацій, що індуковані різними мутагенними чинниками, важливим є визначення частки господарсько-корисних із них. До таких можна віднести стійкість до несприятливих умов середовища, хвороб і шкідників, підвищену врожайність, високі якості зерна й хліба, підвищену кількість білка та незамінних амінокислот, високі адаптивні властивості тощо [14, 22]. За хронічного впливу іонізуючого опромінення в зоні відчуження ЧАЕС частота селекційно-цінних мутацій перевищувала контрольний рівень у 35,3—35,4 раза для сорту Альбатрос одеський та в 20,9—26,8 раза для сорту Зимоярка і становила відповідно 7,05—7,07 та 3,97—5,09 % (табл. 1).

Спектр цих мутацій містив форми з довгим, великим, циліндричним колосом, вкороченим стеблом, інтенсивним ростом, ранніми строками дозрівання. Частка їх від загальної кількості мутацій у рослин сорту Альбатрос одеський, вирощених у с. Чистогалівка, знаходився на рівні контролю (24,69 %), тоді як за умов радіонуклідного забруднення території с. Копачі частка селекційно-цінних мутаційних змін становила 49,34 %, що статистично вірогідно перевищує показники контролю. Переважаючими серед них виявилися форми низькорослі, з інтенсивними темпами відростання та довгим колосом. З високою частотою в рослин, вирощених у с. Копачі, зустрічалася також мутація ранньостиглості. За дії радіонуклідного забруднення з нижчою частотою фіксували мутації великий і циліндричний колос.

Відмінністю реакції генотипу рослин сорту Зимоярка на радіонуклідне забруднення території с. Чистогалівка є істотне зростання частки господарсько-корисних мутацій, яка становить 48,90 %. Перевищення частки селекційно-цінних мутацій порівняно з показника-

ТАБЛИЦЯ 1. Частота селекційно-цінних мутацій (%) в озимої пшениці поколінь M_2—M_3, індукованих у зоні відчуження ЧАЕС

Місце відбору зразків	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій
	Альбатрос одеський		Зимоярка	
смт Глеваха (контроль)	0,20±0,08	24,69±1,94	0,19±0,06	33,33±2,06
с. Чистогалівка	7,07±1,65***	24,29±2,76	5,09±1,08***	48,90±2,46*
с. Копачі	7,05±1,15***	49,34±2,24**	4,64±1,13***	39,02±2,63
с. Янів	—	—	3,97±0,89***	34,58±2,17

Примітка. Тут і в табл. 2—4 різниця відносно контролю статистично вірогідна: * — за $P < 0,05$; ** — за $P < 0,01$; *** — за $P < 0,001$.

ми контролю спостерігалось і за умов впливу радіаційного забруднення територій сіл Копачі та Янів, проте їх відсотковий рівень значно поступався такому, що був виявлений за умов впливу радіаційних чинників території с. Чистогалівка. Здебільшого вони містили зразки ранньостиглі, низькорослі, з інтенсивними темпами відростання та циліндричним колосом. З нижчою частотою та як поодинокі випадки виявлялись мутації циліндричний, великий, довгий колос.

Селекційно-цінні мутації часто супроводжувалися іншими морфологічними і фізіологічними спадковими змінами в рослин, які потенційно можуть знижувати їхню продуктивність. Так, мутація довгий колос виявлялася в комплексі з ознакою довге стебло; мутація низькорослості — одночасно з коротким чи скверхедним колосом; рослини з інтенсивним ростом характеризувались також високорослістю, нещільним колосом; селекційно-цінна ознака ранньостиглості виявлялась одночасно з високорослістю та нещільним колосом; рослини з великим колосом мали пізні строки дозрівання, а циліндричний колос переважно вирізнявся малими розмірами.

Одна з проблем хронічної дії радіації полягає в неможливості передбачити її біологічні наслідки та встановити залежність виходу господарсько-корисних мутацій від загального рівня мутаційних змін. За однакових умов дозового навантаження на популяції рослин різних сортів озимої пшениці в умовах зони відчуження ЧАЕС виявлено істотні відмінності в показниках частоти індукування селекційно-цінних мутацій. У сорту Альбатрос одеський спостерігалось зростання частки селекційно-цінних мутацій за умов впливу на рослини радіонуклідних забруднень ґрунту території с. Копачі з найнижчою питомою радіоактивністю. Частота селекційно-цінних мутацій, індукованих радіонуклідним забрудненням ґрунту в межах сіл Чистогалівка і Янів, знаходилась на одному рівні та істотно перевищувала контрольний показник. У сорту пшениці Зимоярка частка селекційно-цінних мутацій виявилась найвищою за умов хронічного опромінення рослин на території с. Чистогалівка, а за вирощування рослин озимої пшениці за найвищої і найнижчої питомої радіоактив-

ності ґрунту (с. Янів і с. Копачі, відповідно) не відрізнялася від показників контролю.

Дія природних радіоактивних ізотопів на території видобутку й переробки уранової руди спричинювала в поколіннях M_2—M_3 озимої пшениці селекційно-цінні мутації з частотою, що визначається рівнем 2,46—4,13 % (табл. 2). Їхній спектр переважно містив такі типи, як інтенсивні темпи відростання і низькорослість. Значно рідше виявлялась мутація довгий колос, яка була спричинена в рослин сорту Зимоярка дією природних радіоізотопів промислової зони Смолінської шахти. Вияв мутації циліндричний колос пов'язаний з наслідками мутагенної дії на рослини сорту Зимоярка радіонуклідних забруднень промислової зони Інгульської шахти.

Вирощування пшениці сорту Альбатрос одеський на території промислової зони Смолінської шахти супроводжувалося появою в поколіннях M_2—M_3 2,82 % мутацій за господарсько-корисними ознаками, що становили 33,33 % загальної кількості вивчених спадкових змін. Рівень господарсько-корисних мутацій, індукованих умовами забруднення території внаслідок діяльності підприємств уранодобувної промисловості, у рослин сорту Зимоярка перевищував показники контролю в 7,5—8,3 раза. Статистично достовірне їх зростання — 2,73 і 2,49 % помічено за умов впливу радіоізотопів промислових зон відповідно Смолінської та Інгульської шахт. Частка таких мутацій становила 32,50 та 46,20 % загальної кількості. Найнижчу частоту селекційно-цінних мутацій (2,46 %) зафіксовано за умов вирощування рослин пшениці на території хвостосховища «Сухачівське, секція 1». Частка їх від загальної кількості мутацій становила 33,33 % та, як і в попередніх варіантах, істотно поступалася контрольному рівню (50,0 %). Однак, незважаючи на значний відсоток господарсько-цінних мутацій, індукованих забрудненням ґрунту природними радіоізотопами, їх роль у зростанні загальної продуктивності рослин часто нівелювалася одночасним виявом низки мутаційних змін, які

ТАБЛИЦЯ 2. Частота селекційно-цінних мутацій (%) в озимої пшениці поколінь M_2—M_3, індукованих радіонуклідним забрудненням ґрунту об'єктів підприємств уранодобувної промисловості

Місце відбору зразків	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій
	Альбатрос одеський		Зимоярка	
смт Глеваха (контроль)	0,00±0,00	0,00±0,00	0,33±0,33	50,00±2,89
Промислова зона Смолінської шахти	2,82±1,97	33,33±5,59***	2,73±0,72**	32,50±2,07***
Промислова зона Інгульської шахти	—	—	2,49±1,00*	46,20±3,21
Хвостосховище «Сухачівське, секція 1»	—	—	2,46±1,40	33,33±4,27**

не становлять селекційної цінності. Найчастішими серед них виявились високорослість та пізньостиглість.

Частота господарсько-корисних мутацій, індукованих в озимої пшениці забрудненням ґрунту важкими металами викидів промислових підприємств, дуже варіювала та залежала від джерела забруднення, спектра забруднювачів, їхньої концентрації й генотипу рослин. Так, рівень селекційно-цінних мутацій становив 1,76—3,93 % для сорту Альбатрос одеський і 0,40—1,97 % для сорту Зимоярка, що відповідно в 2,9—19,7 та 2,1—10,4 раза перевищує їхню частоту в контролі (табл. 3). Спектр включав такі типи мутацій: низькорослість, інтенсивні темпи відростання, довгий та циліндричний колос, ранньостиглість. За дії забруднень ґрунту важкими металами в межах промислової зони ВАТ «Полтавхіммаш» частка господарсько-корисних мутацій (42,76 %) у рослин сорту Альбатрос одеський суттєво перевищувала їхній рівень у контролі (19,80 %). Частка селекційно-цінних мутації, індукованих викидами Бурштинської ТЕС, становила 21,44 %, що істотно нижче спонтанного рівня.

Висока частота господарсько-корисних мутацій у рослин сорту Зимоярка виявлена за впливу іонів важких металів ґрунту поблизу вул. Б. Хмельницького м. Костянтинівки — 1,97 % та промислової зони КП «Лубниводоканал» — 1,55 %. Саме мутагенні чинники зазначених територій сприяли появі серед загальної кількості видимих

ТАБЛИЦЯ 3. Частота селекційно-цінних мутацій (%) в озимої пшениці поколінь M_2—M_3, індукованих забрудненням ґрунту викидами промислових підприємств

Місце відбору зразків	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій
	Альбатрос одеський		Зимоярка	
смт Глеваха (контроль)	0,20±0,20	19,80±1,79	0,19±0,19	20,00±0,20
ВАТ «Полтавхіммаш», м. Полтава	3,93±1,11**	42,76±2,83***	0,82±0,58	33,33±3,01***
вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка	—	—	1,97±0,69*	34,68±2,36***
ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків	—	—	0,40±0,28	11,05±1,41***
ЗАТ «Луганські акумулятори», м. Луганськ	—	—	0,80±0,40	22,22±1,86
КП «Лубниводоканал», м. Лубни	—	—	1,55±0,58*	26,01±2,06**
смт Глеваха (контроль)	0,60±0,34	37,50±2,15	—	—
5 км від Бурштинської ТЕС	1,76±0,58	21,44±1,81***	—	—

спадкових змін значної частки селекційно-цінних мутацій, яка статистично достовірно перевищувала контрольний рівень і становила відповідно 34,68 і 26,01 %. Наближеною до рівня найвищого показника (33,33 %) була і частка селекційно-цінних мутацій у рослин сорту Зимоярка, спричинених дією забруднень ґрунту важкими металами в межах промислової зони ВАТ «Полтавхіммаш». Частота господарсько-корисних мутацій та їхня частка від загальної кількості виявлених мутацій у рослин пшениці сорту Зимоярка, вирощених на території промислової зони ДВК «СЗТПТПВ» м. Харків та ЗАТ «Луганські акумулятори», була на рівні контролю, а в окремих випадках значно йому поступалася.

При вивченні частоти селекційно-цінних мутацій в озимої пшениці, індукованих забрудненням ксенобіотиками, встановлено, що їх найвищий рівень у сорту Альбатрос одеський пов'язаний із зростанням рослин на ґрунтах, що містять залишки ДДТ й гексахлорбензолу, а в сорту Зимоярка — забруднених комплексом непридатних до використання пестицидів. Загалом рівень господарсько-корисних мутацій в озимої пшениці, індукованих впливом ксенобіотиків, становив 1,95—3,88 % для сорту Альбатрос одеський та 2,50—3,50 % для

ТАБЛИЦЯ 4. Частота селекційно-цінних мутацій (%) в озимої пшениці поколінь M_2—M_3, індукованих забрудненням ґрунту пестицидами і токсичними відходами

Місце відбору зразків	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій	Частота селекційно-цінних мутацій	Частка селекційно-цінних мутацій від загальної кількості виявлених мутацій
	Альбатрос одеський		Зимоярка	
смт Глеваха (контроль)	0,20±0,20	19,80±1,79	0,38±0,27	40,00±2,14
Яблуневий сад, м. Мелітополь	1,95±0,86*	26,50±2,74*	2,50±0,78*	40,00±2,45
Вапняковий кар'єр «Алтестове»	—	—	2,79±0,73**	43,80±2,21
смт Глеваха (контроль)	0,60±0,34	37,50±2,15	—	—
Сховище с. Джурин	2,48±0,68*	24,48±1,88***	—	—
Санітарна зона сховища с. Джурин	—	—	3,10±1,24*	59,96±3,52***
Санітарна зона сховища біля ст. «Затишшя»	—	—	3,50±1,09**	43,48±5,32
Сховище ТОВ «Оріана Галев», м. Калуш	3,88±0,87***	38,04±2,19	—	—
Рекультивована ділянка сховища ТОВ «Оріана Галев», м. Калуш	2,56±0,70*	35,21±2,11	—	—

сорту Зимоярка, що перевищує показники контролю відповідно в 4,1—9,8 та 6,6—9,2 раза (табл. 4). Серед них переважно зустрічались зразки низькорослі, з інтенсивними темпами відростання, довгим та щільним колосом. Окремі типи мутацій — напівкарлики і карлики — з'являлись лише в рослин сорту Альбатрос одеський за дії забруднень гексахлорбензолом та ДДТ на території сховища ТОВ «Оріана Галев» м. Калуш, його рекультивованої ділянки і яблуневого саду м. Мелітополь.

Мутація ранньостиглості пшениці спостерігалась у рослин сорту Альбатрос одеський за їх вирощування на територіях сховища с. Джурин і рекультивованої ділянки полігону ТОВ «Оріана Галев» м. Калуш, де ґрунти забруднені відповідно залишками пестицидів і гексахлорбензолом. У сорту Зимоярка ранньостиглі мутанти індуковані хронічним впливом хімічних мутагенних чинників ґрунту вапнякового кар'єру «Алтестове», де розміщене сховище пестициду ДДТ, і санітарної зони сховища непридатних до використання пестицидів біля станції «Затишшя». Мутація циліндричний колос виявлена в рослин сорту Альбатрос одеський за впливу забруднень ксенобіотиками на усіх досліджуваних об'єктах, однак у рослин сорту Зимоярка її поява пов'язана лише з хронічною дією пестицидного забруднення територій яблуневого саду м. Мелітополь і санітарної зони сховища біля станції «Затишшя».

За хронічного впливу мутагенних чинників хімічної природи підвищення загального рівня частоти мутацій в озимої пшениці переважно супроводжувалось зростанням частки господарсько-корисних спадкових змін. Однак, за впливу на озиму пшеницю сорту Альбатрос одеський ксенобіотиків ґрунту території сховища непридатних до використання пестицидів с. Джурин, їх частка (24,48 %) статистично вірогідно поступалася показникам, виявленим у контролі (37,50 %). Зростання частки селекційно-цінних мутацій помічено також за умов впливу забруднень пестицидами в межах санітарної зони сховища с. Джурин та яблуневого саду м. Мелітополь. Вона становила для сорту Альбатрос одеський 26,50 % і для сорту Зимоярка 59,96 %, що відповідно в 1,3 та 1,5 раза перевищувало контрольні показники.

Серед мутантів, індукованих забрудненням навколишнього середовища фізичними і хімічними мутагенними чинниками, виявлено зразки, що поєднували в собі комплекс селекційно-цінних мутацій: низькорослий з циліндричним колосом, напівкарлик із щільним, циліндричним колосом, середньоранній із циліндричним колосом у сорту Альбатрос одеський та низькорослий із щільним колосом, зразки з інтенсивними темпами відростання і ранніми/середньоранніми строками дозрівання, середньоранній з довгим колосом у сорту Зимоярка. Проте переважно мутанти поєднували господарсько-корисні ознаки з низкою мутацій, що не становлять селекційної цінності, чи навпаки, ускладнюють проведення з ними подальшої селекційної роботи. Зокрема, мутація довгий колос виявлялася в комплексі з ознакою довге стебло; мутація низькорослості — у супроводі короткого чи скверхедного колоса; рослини з інтенсивним ростом характеризу-

вались одночасно високорослістю, нещільним колосом; селекційно-цінна ознака ранньостиглість виявлялась разом із високорослістю та нещільним колосом; рослини з великим колосом характеризувались пізніми строками дозрівання, а циліндричний колос переважно мав обмеження за лінійними розмірами.

У контрольному і попередньому випробуваннях основним критерієм оцінки продуктивності мутантних зразків була врожайність. Середня врожайність мутантних зразків озимої пшениці сорту Альбатрос одеський (№ 5557 і № 5558 — с. Чистогалівка) становила 81,9 ц/га, що складає різницю щодо вихідної форми та стандартів відповідно +3,5 ц/га (+4,5 %) і +5,3 ц/га (+6,9 %) (рис. 1). У всі роки вивчення вища від вихідного сорту врожайність прослідковувалась лише в мутантного зразка № 5558. Середня врожайність мутантів сорту Зимоярка становила 63,7—76,6 ц/га. Із 7 мутантів за селекційно-цінними ознаками, які вивчали в розсадниках контрольного і попереднього випробувань, виділено зразок № 5575 (с. Копачі), який за врожайністю перевищував вихідний сорт на 4,9 ц/га (6,8 %) і не поступався стандарту. Високою продуктивністю характеризувались мутанти № 5577 (с. Янів), № 5590 (хвостосховище «Сухачівське, секція 1»), врожайність яких становила 73,7 і 73,6 ц/га відповідно та перевищувала врожайність вихідного сорту на 1,9—2,0 ц/га (2,7—2,8 %).

За роки досліджень середня врожайність виділених мутантних зразків озимої пшениці сорту Альбатрос одеський, індукованих хімічними мутагенними чинниками навколишнього середовища, ста-

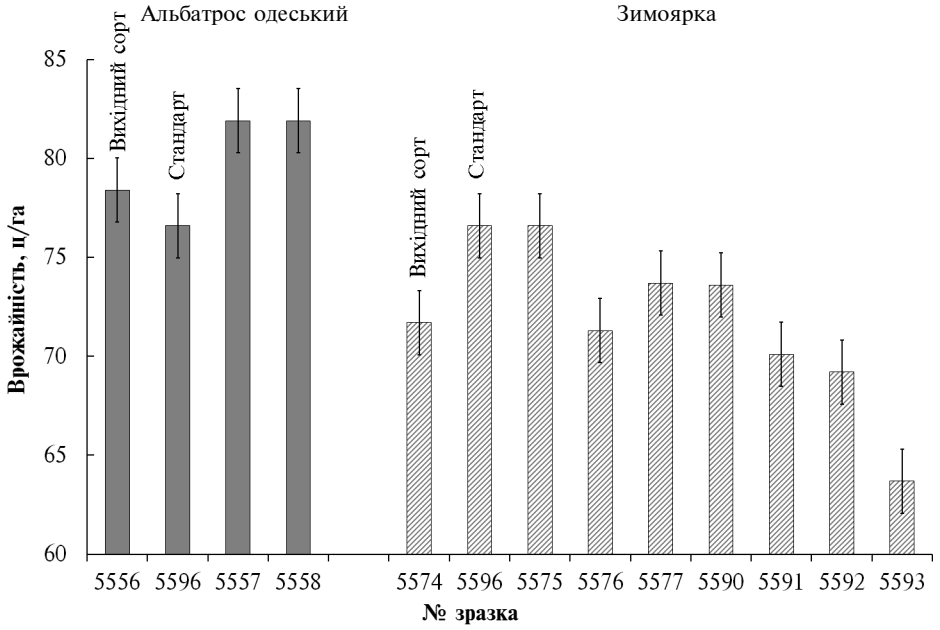

Рис. 1. Показники середньої врожайності продуктивних мутантів M_4—M_6 озимої пшениці, індукованих радіонуклідним забрудненням навколишнього середовища: 5557, 5558 — с. Чистогалівка; 5575 — с. Копачі; 5576, 5577 — с. Янів; 5590 — хвостосховище «Сухачівське, секція 1»; 5591 — промзона Інгульської шахти; 5592, 5593 — промзона Смолінської шахти

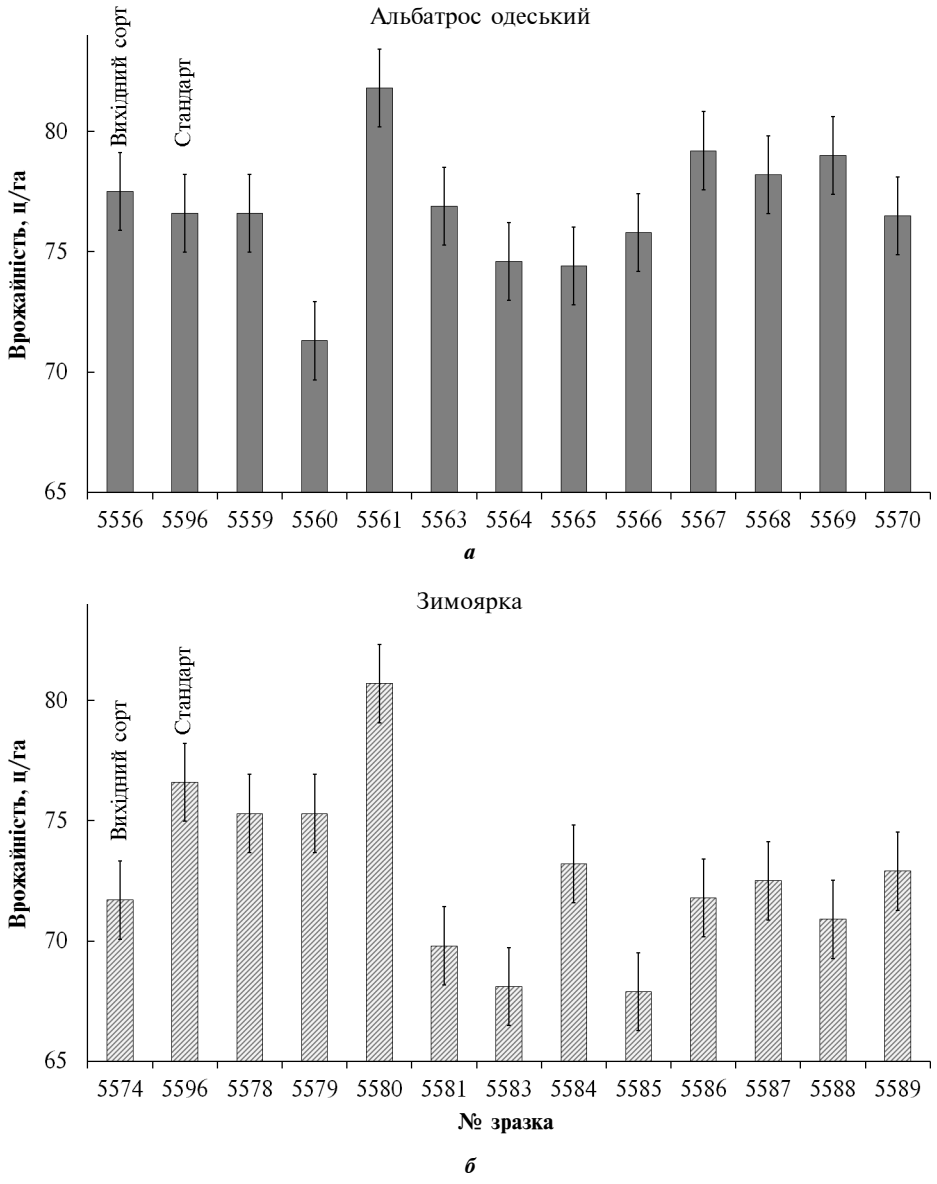

Рис. 2. Показники середньої врожайності продуктивних мутантів поколінь M_4—M_6 озимої пшениці, індукованих хімічними мутагенними чинниками навколишнього середовища:

а) 5559 — яблуневий сад м. Мелітополь; 5560 — ВАТ «Полтавхіммаш»; 5561, 5563 — 5 км від Бурштинської ТЕС; 5564, 5565 — сховище пестицидів с. Джурин; 5566—5568 — полігон ТОВ «Оріана Галев»; 5569, 5570 — рекультивована ділянка полігону ТОВ «Оріана Галев»; *б*) 5578—5581 — вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка; 5583, 5584 — ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків; 5585, 5586 — ЗАТ «Луганські акумулятори»; 5587 — КП «Лубниводоканал»; 5588 — вапняковий кар'єр «Алтестове»; 5589 — санзона сховища ст. «Затишшя»

новила 74,4—81,8 ц/га, що варіює порівняно з вихідною формою та стандартом відповідно в межах —4,0...+3,4 ц/га (—5,1...+4,3 %) і —2,2...+5,2 ц/га (—2,9...+6,8 %) (рис. 2, *а*). Більш високоврожайними виявилися мутанти № 5560 і № 5561, що індуковані забрудненням ґрунту важкими металами територій промислової зони підприємства

ВАТ «Полтавхіммаш» та за 5 км від Бурштинської ТЕС. Їхня урожайність перевищувала вихідний сорт на 1,5—3,4 ц/га (1,9—4,3 %) і стандарт на 3,3—5,2 ц/га (4,3—6,8 %). Серед вивчених мутантів виділено зразки, врожайність яких зберігалася на рівні вихідного сорту або перевищувала її в окремі роки та водночас перевищувала врожайність стандарту на 0,9—2,6 ц/га (1,2—3,4 %): № 5559 (яблуневий сад м. Мелітополь), № 5567, № 5568 (полігон токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев»), № 5569 (рекультивована ділянка полігону ТОВ «Оріана Галев»).

Середня врожайність мутантів сорту Зимоярка становила 67,9—80,7 ц/га, що відрізняє її від врожайності вихідного сорту і стандарту відповідно на —3,8...+9,0 ц/га (—5,3...+12,6 %) та —8,7...+4,1 ц/га (—11,4...+5,4 %) (рис. 2, *б*). Високою врожайністю, яка перевищувала врожайність вихідного сорту на 3,6—9,0 ц/га (1,7—12,6 %), характеризувались мутантні зразки № 5578, № 5579, № 5580 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка) і № 5589 (санітарна зона станції «Затишшя»). Однак за продуктивністю усі вони поступалися стандарту.

У виділених продуктивних мутантів сорту Альбатрос одеський, індукованих радіаційними чинниками довкілля, вміст білка в зерні коливався в межах 12,4—12,8 %, що істотно менше від показника вихідного сорту — 13,0 % (табл. 5). Проте мутантний зразок № 5557

ТАБЛИЦЯ 5. Показники якості зерна продуктивних мутантів озимої пшениці, індукованих радіонуклідним забрудненням навколишнього середовища

Номер зразка	Варіант впливу	Вміст білка, %	Білкова продуктивність, ц/га	Вміст клейковини, %	Показник седиментації SDS-30, мл	Твердозерність
5556	Альбатрос одеський (вихідний сорт)	13,0	10,2	27,5	75	57
5557	с. Чистогалівка	12,8	10,2	27,0	81	45
5558	с. Чистогалівка	12,4	9,8	25,9	65	50
	m %	0,9	0,9	1,2	4,5	4,8
	$НСР_{0,05\%}$	0,72	0,44	2,00	20,00	14,91
5574	Зимоярка (вихідний сорт)	12,9	9,5	27,2	60	54
5575	с. Копачі	13,3*	10,1*	28,1*	53*	58*
5576	с. Янів	13,5*	10,0	28,6*	58	65*
5577	с. Янів	12,9	10,0	27,9*	56*	67*
5590	Хвостосховище «Сухачівське, секція 1»	13,0	9,0	27,4	55*	58*
5591	Промзона Інгульської шахти	13,2*	8,8*	27,9*	64*	55
5592	Промзона Смолінської шахти	12,9	8,6*	27,3	61	57
5593	Промзона Смолінської шахти	12,8	8,1*	26,9	63	61*
	m%	0,44	2,05	0,51	1,67	1,95
	$НСР_{0,05\%}$	0,19	0,64	0,47	3,32	3,92

Примітка. Тут і в табл. 6: * — різниця відносно вихідного сорту статистично вірогідна за $P < 0,05$.

(с. Чистогалівка) за рахунок зростання врожайності зберігав високий показник загальної білкової продуктивності. В ендоспермі зерна зазначеного мутанта також не виявлено істотного зниження вмісту сирої клейковини, а показник седиментації (SDS-30) достовірно перевищував рівень контролю (75 мл) і становив 81 мл. Високоврожайний мутантний зразок № 5558 суттєво поступався вихідному сорту за показниками седиментації та вмісту сирої клейковини. Показник твердозерності в досліджуваних мутантів варіював в межах 45—50, що істотно менше від контрольного рівня — 57.

Вміст білка в зерні продуктивних мутантів сорту Зимоярка коливався в межах 12,8—13,5 %, за показника у вихідного зразка 12,9 %. Істотне зростання вмісту загального білка виявлено у мутантів № 5576 (с. Янів) — 13,5 %, № 5575 (с. Копачі) — 13,3 %, № 5591 (промислова зона Інгульської шахти) — 13,2 %. Серед них лише мутант № 5575 характеризувався підвищеною врожайністю (+4,9 ц/га до вихідного сорту), що надає йому особливої цінності при подальшій селекційній роботі. Високоврожайні мутантні зразки № 5577 (с. Янів) і № 5590 (хвостосховище «Сухачівське, секція 1») за показником вмісту білка в зерні прирівнювалися до вихідної форми. Істотно вищу кількість протеїну з одиниці площі (10,0—10,1 ц/га) продукували мутанти № 5575, № 5576 і № 5577, індуковані радіонуклідним забрудненням зони відчуження ЧАЕС. Схожа тенденція зберігалась і за вмістом в ендоспермі зерна сирої клейковини, що становила 26,9—28,1 %, за показника у контролі 27,2 %. Найвищі його значення виявлено в мутантних зразках № 5576 (с. Янів) — 28,6 %, № 5575 (с. Копачі) — 28,1 %, № 5577 (с. Янів) — 27,9 %, № 5591 (промислова зона Інгульської шахти) — 27,9 %, серед яких лише лінії № 5575 і № 5577 характеризувались вищою, порівняно з вихідною формою, врожайністю. Статистично вірогідної різниці за вмістом сирої клейковини в зерні між продуктивним мутантом № 5590 (хвостосховище «Сухачівське, секція 1») і зразком вихідного сорту не виявлено.

Показник седиментації білкового комплексу борошна в мутантів сорту Зимоярка варіював у межах 53—64 мл. Істотне зростання його значення (64 мл) щодо вихідної форми (60 мл) виявлено в мутантного зразка № 5591 (промислова зона Інгульської шахти), який характеризувався дещо меншою від вихідного сорту врожайністю. Мутантні лінії, які мали високу загальну продуктивність, за рівнем показника седиментації істотно поступалися вихідному сорту, а найбільш високоврожайний мутант № 5575 (с. Копачі) за показником седиментації — 53 мл, виявляв найнижчий рівень якості зерна.

Серед досліджуваних продуктивних мутантів виявлено низку зразків, які вирізнялися достовірно вищим показником твердозерності, що варіював в межах 55—67, за показника у вихідного сорту 54. Вдалим поєднанням ознак високих твердозерності — 67 та врожайності характеризувався мутант № 5577 (с. Янів). У мутанта № 5590 (хвостосховища «Сухачівське, секція 1») поряд із зростанням врожайності спостерігалося збереження показника твердозерності на рівні вихідного сорту — 58.

У виділених за продуктивністю мутантів сорту Альбатрос одеський, індукованих хімічними техногенними чинниками навколиш-

ТАБЛИЦЯ 6. Показники якості зерна продуктивних мутантів озимої пшениці, індукованих забрудненням хімічними мутагенними чинниками навколишнього середовища

Номер зразка	Варіант впливу	Вміст білка, %	Білкова продуктивність, ц/га	Вміст клейковини, %	Показник седиментації SDS-30, мл	Твердозерність
5556	Альбатрос одеський (вихідний сорт)	13,0	10,2	27,5	75	57
5559	Яблуневий сад, м. Мелітополь	12,7*	9,9*	26,8*	88*	42*
5560	ВАТ «Полтавхіммаш»	12,6*	9,6*	26,4*	86*	50*
5561	5 км від Бурштинської ТЕС	13,1	10,6*	27,5	80*	47*
5563	5 км від Бурштинської ТЕС	12,6*	9,5*	26,5*	92*	51*
5564	Сховище пестицидів с. Джурин	12,7*	9,6*	26,7*	78	54
5565	Сховище пестицидів с. Джурин	12,7*	9,5*	26,5*	85*	38*
5566	Полігон ТОВ «Оріана Галев»	12,7*	9,4*	26,8*	87*	40*
5567	Полігон ТОВ «Оріана Галев»	12,5*	9,7*	26,3*	88*	43*
5568	Полігон ТОВ «Оріана Галев»	12,6*	9,8*	26,5*	84*	44*
5569	Рекультивована ділянка полігону ТОВ «Оріана Галев»	12,5*	9,7*	26,3*	85*	48*
5570	Рекультивована ділянка полігону ТОВ «Оріана Галев»	12,6*	10,1	26,5*	83*	34*
	m %	0,42	1,02	0,45	1,61	4,3
	$НСР_{0,05}$	0,16	0,31	0,37	4,2	6,0
5574	Зимоярка (вихідний сорт)	12,9	9,5	27,2	60	54
5578	вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка	12,9	10,4*	27,2	56*	62*
5579	вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка	12,5*	9,5	26,3*	52*	56
5580	вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка	12,5*	10,4*	26,2*	48*	34*
5581	вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка	12,1*	9,2	25,4*	49*	58
5583	ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків	12,2*	8,7*	25,6*	52*	55
5584	ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків	13,0	9,9	27,5	57	61*
5585	ЗАТ «Луганські акумулятори»	13,1	9,4	27,7	59	60
5586	ЗАТ «Луганські акумулятори»	12,8	9,1	26,9	51*	60
5587	КП «Лубниводоканал»	13,0	9,4	27,5	64	57
5588	Вапняковий кар'єр «Алтестове»	12,8	9,0*	26,9	55*	62*
5589	Санзона сховища ст. «Затишшя»	13,0	9,2	27,3	53*	57
	m%	0,72	1,58	0,82	2,50	3,85
	$НСР_{0,05}$	0,28	0,46	0,68	4,2	6,7

нього середовища, вміст білка в зерні коливався в межах 12,5—13,1 % (табл. 6). Найвищим показником загального білка в зерні (13,1 %), який статистично достовірно не відрізнявся від виявленого у вихідного сорту, характеризувався зразок № 5561. За рахунок високої врожайності цього мутанта показник загальної білкової продуктивності зазнав істотного приросту і становив 0,4 ц/га.

Вміст сирої клейковини в ендоспермі зерна виділених за продуктивністю мутантів сорту Альбатрос одеський становив 26,3—27,5 % та здебільшого був істотно меншим від показників вихідної форми — 27,5 %. Найвищий вміст сирої клейковини, що не відрізнявся від показника у вихідного сорту, виявлено в мутантного зразка № 5561 (27,5 %), індукованого забрудненням викидів Бурштинської ТЕС. У мутантів спостерігалася тенденція до істотного зростання показника седиментації (SDS-30), який становив 78—92 мл за контрольного показника 75 мл. Однак серед них лише мутанти № 5560, № 5567 і № 5569 відзначилися зростанням середньої врожайності.

У мутантного зразка № 5561, для якого характерним було стійке збереження високої врожайності за роками, показник седиментації виявився найнижчим і становив відповідно 80 мл. Найвищий показник твердозерності — 54, що істотно не відрізнявся від контрольного рівня, виявлено у мутанта № 5564 (сховище пестицидів с. Джурин), який за врожайністю поступався вихідному сорту.

Вміст білка в зерні продуктивних мутантних ліній сорту Зимоярка коливався в межах 12,1—13,1 %, за показників у вихідного сорту 12,9 %. Найвищі його значення, що були в межах статистичної похибки порівняно з показниками вихідного сорту, виявлено в мутантів № 5578, № 5584—5589. Істотно вищу кількість протеїну з одиниці площі (10,4 ц/га) продукували зразки № 5578 і № 5580, індуковані забрудненням ґрунту важкими металами поблизу вул. Б. Хмельницького м. Костянтинівка. Схожа тенденція зберігалась і за рівнем сирої клейковини, що становив 25,4—27,7 % за показника у контролі 27,2 %. Статистично достовірної різниці за вмістом сирої клейковини в зерні між високопродуктивними мутантами № 5578 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), № 5584 (промислова зона ДВК «СЗТПТПВ, м. Харків), № 5589 (санітарна зона сховища біля станції «Затишшя») і зразком вихідного сорту не виявлено.

Показник седиментації білкового комплексу борошна в мутантних зразків сорту Зимоярка варіював у межах 48—64 мл. Мутанти, що характеризувались високою врожайністю, істотно поступалися вихідному сорту за показником седиментації. Селекційну цінність може становити мутантний зразок № 5584 (ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків), у якого приріст середньої врожайності на 1,5 ц/га супроводжувався збереженням вмісту білка, сирої клейковини і показника седиментації на рівні вихідного сорту.

Серед досліджуваних продуктивних мутантів виявлено низку зразків, що вирізнялися статистично достовірним зростанням показника твердозерності, який варіював у межах 34—62. Вдалим поєднанням ознак твердозерність та висока врожайність характеризувалися зразки № 5578 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), № 5584

(ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків), у яких показник твердозерності перевищував контрольний рівень і становив відповідно 62 і 61. У мутантів № 5579 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), № 5589 (санітарна зона біля станції «Затишшя») поряд із зростанням врожайності спостерігалося збереження показника твердозерності на рівні вихідного сорту (56—57).

Таким чином, забруднення навколишнього середовища техногенними мутагенними чинниками, виявляючи генотоксичні властивості, спричинює в озимої м'якої пшениці зростання частоти селекційно-цінних мутацій, яка перевищує спонтанні показники контролю в 20,9—35,4 раза за умов впливу забруднень радіонуклідами у зоні відчуження Чорнобильської АЕС, у 7,5—12,5 раза — території видобутку і переробки уранової руди, в 2,1—19,7 раза — важкими металами промислових підприємств і прилеглих територій та в 4,1—9,8 раза — забороненими і непридатними до використання пестицидами, токсичними відходами в місцях їх сховищ. Спектр селекційно-цінних мутацій переважно представлений низькорослістю, інтенсивними темпами росту, довгим і циліндричним колосом та залежить від природи забруднювального агента і генотипу рослин. Висока ймовірність успадкування господарсько-корисних ознак у комплексі з мутаціями, що знижують продуктивність озимої пшениці, обмежує ефективність проведення прямого добору селекційно-цінних мутантних зразків. Розширення генетичної різноманітності вихідного селекційного матеріалу за рахунок індукованого радіонуклідним і хімічним забрудненням мутагенезу створює перспективи для його використання у схрещуваннях з метою реалізації селекційно-генетичних програм створення високопродуктивних сортів пшениці з підвищеним адаптивним потенціалом до несприятливих умов навколишнього середовища.

Серед досліджуваних продуктивних мутантів, індукованих мутагенними чинниками навколишнього середовища, виділено зразки, які за врожайністю перевищували вихідні сорти на 1,1—12,6 %. У більшості з них показники вмісту білка і клейковини в зерні, показник седиментації та твердозерність відповідають рівню вихідного сорту або істотно йому поступаються. Виявлено зразки № 5561 сорту Альбатрос одеський та № 5575 сорту Зимоярка, індуковані відповідно забрудненнями викидів Бурштинської ТЕС і радіонуклідами зони відчуження ЧАЕС, підвищена врожайність яких супроводжувалася істотним зростанням або збереженням на рівні вихідної форми показників якості зерна. Незважаючи на зниження вмісту загального білка в зерні, високопродуктивні мутанти № 5557 і № 5570 сорту Альбатрос одеський, що відповідно індуковані дією техногенного забруднення територій с. Чистогалівка і полігону токсичних відходів ТОВ «Оріана Галев», м. Калуш, за рахунок високої врожайності зберігали білкову продуктивність на рівні вихідного сорту. Мутантні зразки № 5576, № 5577, № 5578, № 5580 сорту Зимоярка, що індуковані забрудненням ґрунту радіонуклідами зони відчуження ЧАЕС та важкими металами поблизу вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка, за рахунок зростання вмісту білка в зерні або

підвищеної врожайності продукували істотно вищий вихід протеїну з одиниці площі. Використовуючи дію техногенних мутагенних чинників навколишнього середовища, можна поліпшувати показники якості зерна пшениці, одночасно зберігаючи при цьому потенціал урожайності вихідного сорту.

REFERENCES

1. FAO. 2021. Crop Prospects and Food Situation — Quarterly Global Report No. 4, December 2021. Rome. https://doi.org/10.4060/cb7877en
2. Konopatskaia, I., Vavilova, V., Blinov, A. & Goncharov, N.P. (2016). Spike morphology genes in wheat species (Triticum L.). Proceedings of the Latvian Academy of Sciences. Section B, 70, No. 6, pp. 345-355. https://doi.org/10.1515/prolas-2016-0053
3. Qaim, M. (2020). Role of new plant breeding technologies for food security and sustainable agricultural development. Applied Economic Perspectives and Policy, 42, No. 2, pp. 129-150. https://doi.org/10.1002/aepp.13044
4. Anders, S., Cowling, W., Pareek, A., Gupta, K.J., Singla-Pareek, S.L. & Foyer, C.H. (2021). Gaining acceptance of novel plant breeding technologies. Trends in Plant Science, 26, No. 6, pp. 575-587 https://doi.org/10.1016/j.tplants.2021.03.004
5. Tadesse, W., Sanchez-Garcia, M., Tawkaz, S., El-Hanafi, S., Skaf, P., El-Baouchi, A., Eddakir, K., El-Shamaa, K., Thabet, S., Gizaw A.S. & Baum, M. (2019). Wheat breeding Handbook at ICARDA. Beirut: ICARDA. https://doi.org/20.500.11766/10723
6. Gubatov, T. & Delibaltova, V. (2020). Evaluation of wheat varieties by the stability of grain yield in multienvironmental trails. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 26, No. 2, pp. 384-394.
7. Frank, G., Riviere, P., Pin, S., Baltassat, R., Berthellot, J.-F., Caizergues, F., Dalmasso, C., Gascuel, J.-S., Hyacinthe, A., Mercier, F., Montaz, H., Ronot, B., Goldringer, I. (2019). Genetic diversity and stability of performance of wheat population varieties developed by participatory breeding. Sustainability, No. 156, pp. 1-11. https://doi.org/10.3390/su12010384
8. Rasheed A., Mujeeb-Kazi A., Ogbonnaya F.C., He, Z. & Rajaram, S. (2018). Wheat genetic resources in the post-genomics era: promise and challenges. Annals of Botany, No. 121, pp. 603-616. https://doi.org/10.1093/aob/mcx148
9. Godwin, I.D., Rutkoski, J., Varshney, R.K. & Hickey, L.T. (2019). Technological perspectives for plant breeding. Theoretical and Applied Genetics, No. 132, pp. 555-557. https://doi.org/10.1007/s00122-019-03321-4
10. Jankowicz-Cieslak, J., Tai, T.H., Kumlehn, J. & Till, B.J. (2017). Biotechnologies for Plant Mutation Breeding. Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45021-6
11. Zaidi, S.S., Vanderschuren, H., Qaim, M., Mahfouz, M.M., Kohli, A., Mansoor, S. & Tester, M. (2019). New plant breeding technologies for food security. Science, No. 363, pp. 1390-1391. https://doi.org/10.1126/science.aav6316
12. Waugh, R., Leader, D.J., McCallum, N. & Caldwell, D. (2006). Harvesting the potential of induced biological diversity. Trends in Plant Science, No. 11, pp. 71-79.
13. Nazarenko, M., Lykholat, Y., Grygoryuk, I. & Khromikh, N. (2018). Optimal doses and concentrations of mutagens for winter wheat breeding purposes. Part I. Grain productivity. Journal of Central European Agriculture, 19, No. 1, pp. 194-205. https://doi.org/10.5513/JCEA01/19.1.2037
14. Mir, B.A.S., Maria, M., Muhammad, S. & Ali, S.M. (2020). Potential of mutation breeding to sustain food security. London: IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.94087
15. Krotova, L.A. & Popolzuhina, N.A. (2011). The influence of chemical and biological mutagens on the relationship of quantitative traits in common wheat. Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta, 75, No. 1, pp. 45-48 [in Russian].
16. Nazarenko, M.M. (2020). Induction of winter wheat plant structure mutationsby chemomutagenesis. Agrology, 3, No. 2, pp. 57-65. https://doi.org/10.32819/020008

17. Yakymchuk, R.A. & Morgun, V.V. (2011). Efficiency of radiation exposure of the Chernobyl Exclusion Zone in the creation of breeding and valuable material of winter wheat. Visnyk Ukrainskoho tovarystva henetykiv i selektsioneriv, 9, No. 2, pp. 288-293 [in Ukrainian].
18. Eyges, N.S. (2013). The historical role of Rapoport in genetics. Продолжение исследований с использованием метода химического мутагенеза. Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii, 17, No. 1, pp. 162-172 [in Russian].
19. Khazaei, H., Makela, P.S. A. & Stoddard, F.L. (2018). Ion beam irradiation mutagenesis in rye (Secale cereale L.), linseed (Linum usitatissimum L.) and faba bean (Vicia faba L.). Agricultural and Food Science, No. 27, pp. 146-151. https://doi.org/10.23986/afsci.70780
20. Mousseau, T.A. & Moller, A.P. (2020). Plants in the light of ionizing radiation: what have we learned from Chernobyl, Fukushima, and other «hot» places? Frontiers in Plant Science, No. 11, pp. 1-9. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00552
21. Yang, G., Luo, W., Zhang, J., Yan, X., Du, Y., Zhou, L., Li, W., Wang, H., Chen, Z. & Guo, T. (2019). Genome-wide comparisons of mutations induced by carbon-ion beam and gamma-rays irradiation in rice via resequencing multiple mutants. Frontiers in Plant Science, No. 10, pp. 1-13. https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01514
22. Morgun, V.V. & Yakymchuk, R.A. (2010). Remoted genetic consequences of the accident on Chornobyl' NPP. Kyiv: Lohos [in Ukrainian].
23. Yakymchuk, R.A. (2019). Genetic consequences of the contamination of the environment with natural and techno-genic mutagenic factors. Kyiv: Lohos [in Ukrainian].
24. Burdeniuk-Tarasevych, L.A., Lozinskyi, M.V. & Dubova, O.A. (2015). Peculiarities of stem length formation in selective numbers of winter wheat depending on their genotypes and growing conditions. Ahrobiolohiia, No. 1, pp. 11-15 [in Ukrainian].
25. Rybalka, O.I., Chervonis, M.V. & Lytvynenko, M.A. (2009). Evaluation of wheat grain quality in the early stages of breeding. Visnyk ahrarnoi nauky, No. 1, pp. 44-48 [in Ukrainian].
26. Lakin, G.F. (1990). Biometrics. Moskva: Vysshaya shkola [in Russian].

Received 21.02.2022

IMPROVEMENT OF ECONOMICALLY USEFUL FEATURES OF WINTER WHEAT UNDER THE EFFECT OF TECHNOGENIC MUTAGENIC FACTORS OF THE ENVIRONMENT

R.A. Yakymchuk

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska, St., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: peoplenature16@gmail.com

Unique conditions of the effect on living organisms of physical and chemical mutagenic factors, which can be used to induce mutations and to create initial breeding material for the improvement of plant cultivars, appeared in the techno-genically contaminated territories. Under the effect of radio-nuclide contaminations of the alienation zone of Chornobyl NPP and the mining and processing territory of uranium ore on winter wheat, heavy metal discharges of industrial enterprises, xenobiotics of the areas of the warehouses with forbidden and unusable pesticides appeared to be higher by 2.1—35.4 times of the frequency of breeding-valuable mutations as compared with the spontaneous growth indicators. The expansion of the genetic diversity of the initial breeding material due to the mutagenesis, induced by radio-nuclide and chemical contamination, creates the conditions for its use in the crossings which are aimed at the implementation of the breeding-genetic programs for the development of highly productive wheat cultivars with the increased adaptive potential for the unfavorable conditions of the environment. Productive mutants which, by their yield capacity,

exceed initial cultivars by 1.1—12.6 %, were identified. Most of them have the indicators of protein and gluten content in grain and the indicators of sedimentation and solid grain state which either correspond to the level of the initial cultivar or are significantly behind it. Mutant samples № 5561 of cultivar Albatros odeskyi and samples № 5575 of cultivar Zymoiarka, induced by the discharge contamination from Burshtyn HPP and radio-nuclides of the alienation zone of ChNPP, were identified; their higher yield capacity goes along with a serious increase of the indicators of grain quality or keeping them at the level of the initial cultivar. Mutant samples № 5576, № 5577, № 5578, № 5580 of cultivar Zymoiarka, induced by the soil contamination with radio-nuclides of the alienation zone of ChNNP and by heavy metals of the discharges of industrial enterprises, produce a significantly higher protein output per area unit due to the increase of the grain protein content or higher yield capacity. Using the effect of the techno-genic mutagenic factors of the environment it is possible to improve the indicators of wheat grain quality and at the same time to preserve the potential of the yield capacity of the initial cultivar.

Key words: T. aestivum L., mutagenic factors, breeding-valuable mutations, productive mutants, grain quality, protein productivity.