

<https://doi.org/10.15407/frg2020.02.140>

УДК 575.24:631.528:633.15

## ЯКІСТЬ ЗЕРНА ПРОДУКТИВНИХ МУТАНТІВ *TRITICUM AESTIVUM* L., ІНДУКОВАНИХ ТЕХНОГЕННИМ ЗАБРУДНЕННЯМ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Р.А. ЯКИМЧУК

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України  
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17  
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини  
20300 Умань, вул. Садова, 2  
e-mail: peoplenature16@gmail.com*

У результаті вивчення мутантів *Triticum aestivum* L., індукованих забрудненням навколишнього середовища мутагенними чинниками, виділено зразки, з підвищеною продуктивністю. Оскільки створення високоврожайних і високоякісних сортів є пріоритетним завданням державного рівня для сучасної селекції пшениці, ми вивчали окремі параметри якості зерна продуктивних мутантів *T. aestivum* та встановили можливості використання техногенно забруднених територій при створенні селекційно-цінного матеріалу. Проаналізовано мутантні зразки озимої пшениці сортів Альбатрос одеський і Зимоярка з попереднього випробування ( $M_0$ ), індуковані забрудненням радіонуклідами зони відчуження Чорнобильської АЕС та промислової зони підприємств із видобутку урану, важкими металами прилеглих до теплових електростанцій і металургійних підприємств територій, ксенобіотиками сховищ пестицидів і токсичних відходів. Якість зерна визначали за вмістом у ньому білка і клейковини, показниками твердозерності та седиментації SDS-30. Найвищими вмістами білка і сирої клейковини в зерні характеризувались високоврожайні мутантні зразки, індуковані впливом викидів Бурштинської ТЕС, радіонуклідним забрудненням зони відчуження Чорнобильської АЕС, промислової зони Інгульської шахти. Показник седиментації білкового комплексу борошна мутантних зразків варіював у межах 65–92 мл для сорту Альбатрос одеський та 48–64 мл для сорту Зимоярка. Істотно зростав він у мутантів, урожайність яких не перевищувала рівня вихідного сорту. Досліджувані мутанти пшениці сорту Альбатрос одеський за показником твердозерності значно поступались контрольним. Показники твердозерності на рівні 61–67 вдало поєднувались із високою врожайністю у зразках сорту Зимоярка, отриманих за умов впливу забруднень радіонуклідами зони відчуження Чорнобильської АЕС та важкими металами викидів промислових підприємств. Виявлено низку високопродуктивних мутантів, у яких унаслідок зростання вмісту білка в зерні або підвищення врожайності вихід протеїну з одиниці площі істотно перевищував контрольний показник. Отже, за дії техногенних мутагенних чинників навколишнього середовища поліпшується якість зерна пшениці й одночасно зберігається потенціал урожайності вихідного сорту.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum* L., мутагенні чинники, якість зерна, клейковина, твердозерність, білкова продуктивність.

Цитування: Якимчук Р.А. Якість зерна продуктивних мутантів *Triticum aestivum* L., індукованих техногенним забрудненням навколишнього середовища. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. 52, № 2. С. 140–151. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.140>

Одним із головних напрямів у селекції зернових культур 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 — перший показник, що лімітує як харчові, так і технологічні характеристики зерна, зокрема і хлібопекарські властивості борошна [1]. В Україні виробляють лише 10–12 % продовольчої пшениці, решта — кормова [2]. Тому створення високоврожайних і високоякісних сортів — пріоритетне завдання державного рівня для сучасної селекції пшениці.

Вміст білка в зерні пшениці за контрольованих умов можна підвищити до 16 % без зміни її врожайності [3]. Подальше збільшення вмісту білка супроводжується зниженням урожайності, що є наслідком негативної кореляції [4] та ускладнює селекцію на підвищення обох ознак одночасно. Згідно з результатами досліджень Самофалова [5], з кожною новою сортозміною в міру зростання врожайності нових сортів помічено тенденцію щодо зменшення вмісту білка і клейковини в зерні. Тому при поліпшенні якості злакових культур вкрай актуальною проблемою для селекціонерів багатьох країн світу є виявлення існуючих і створення нових генетичних джерел ознак.

За мутагенезу виникають можливості змін напряму і характеру генетично зумовлених кореляційних зв'язків, зокрема й при перенесенні мутантного гена до нового генетичного середовища [6]. В разі застосування мутагенних чинників високою є ймовірність індукування окремих мутацій у певному гені чи групі генів, які контролюють якісні показники. На основі індукованих мутацій створено колекції зразків озимої та ярої пшениці з підвищеним вмістом білка і клейковини в зерні, силою борошна та об'ємним виходом хліба більшими, ніж у вихідних форм, виділено мутанти з вищими показниками суми незамінних амінокислот, каротину, іншими цінними ознаками [7].

Сьогодні позначено активним пошуком мутагенів, які б забезпечували високий рівень керованої селекціонером мінливості, істотно знижували рівень депресії в рослин і мали меншу собівартість [8]. Крім опромінення лазером, іонами азоту, вуглецю, використання умов космічного простору [9, 10] нині постало питання ефективності застосування комплексу мутагенних чинників навколишнього середовища, що сформувалися на техногенно забруднених територіях. У цьому аспекті важливими є дослідження генетичних наслідків забруднення радіонуклідами в зоні відчуження Чорнобильської АЕС, у промисловій зоні підприємств із видобутку урану, важкими металами поблизу теплових електростанцій і металургійних підприємств, ксенобіотиками територій сховищ пестицидів і токсичних відходів [11, 12]. У результаті аналізу індукованих за таких умов мутантів виділено зразки пшениці з господарсько-корисними спадковими змінами та підвищеною продуктивністю [13]. Подальше комплексне їх вивчення за показниками якості зерна є важливою передумовою для до-

бору цінного селекційного матеріалу й ефективного його використання при генетичному поліпшенні озимої пшениці.

У зв'язку з цим метою наших досліджень було вивчення окремих параметрів якості зерна продуктивних мутантів *Triticum aestivum* L., індукованих мутагенними чинниками навколишнього середовища, та встановлення можливості використання техногенно забруднених територій при створенні вихідного селекційного матеріалу озимої пшениці.

### Методика

Матеріалом досліджень були мутантні зразки пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) сортів Альбатрос одеський і Зимоярка з попереднього випробування поколінь  $M_6$ , індукованих забрудненням радіонуклідами 30-кілометрової зони відчуження ЧАЕС (села Копачі, Чистогалівка, Янів), промислової зони підприємств із видобутку урану (Смолінська та Інгільська шахти, Кіровоградська обл.; хвостосховище «Сухачівське, секція 1», Дніпропетровська обл.), важкими металами викидів промислових підприємств і теплоелектростанцій (промислові зони Бурштинської ТЕС, Івано-Франківська обл.; 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; вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), ксенобіотиками в місцях інтенсивного використання пестицидів, сховищ отрутохімікатів і токсичних відходів (яблуневий сад Інституту зрощуваного садівництва ім. М.Ф. Сидоренка НААН України, м. Мелітополь; вапняковий кар'єр «Алтестове», Одеська обл.; сховище пестицидів с. Джурин, Вінницька обл.; сховище пестицидів біля станції «Затишся», Одеська обл.; полігон токсичних відходів ТОВ «ОріанаГалев» та його рекультивована ділянка, м. Калущ, Івано-Франківська обл.). Контролем слугували рослини вихідних сортів, вирощувані на полях дослідного сільськогосподарського виробництва Інституту фізіології рослин і генетики НАН України (сmt Глеваха Васильківського р-ну Київської обл.).

Якість зерна визначали за такими параметрами: вміст білка в зерні, вміст клейковини в зерні, показник твердозерності, показник SDS-30. Аналіз проводили в лабораторії якості зерна Інституту фізіології рослин і генетики НАН України. Зразки зерна масою 50 г розмелювали в лабораторному млині Perten LM 3100 (Швеція). Визначали загальний вміст білка, клейковини та досліджували фізичні показники твердозерності методом інфрачервоної спектроскопії (NIR) на приладі Perten Inframatic 8600 (Швеція), дія якого ґрунтується на відбитті ближнього інфрачервоного випромінювання у діапазоні хвиль завдовжки 500—2300 нм і наступному порівнянні отриманого спектра з результатами бази даних калібрувань.

Показник седиментації SDS-30 визначали згідно з методиками і рекомендаціями, розробленими в Селекційно-генетичному інституті—Національному центрі насіннєзнавства і сортівивчення НААН України [14]. Основною характеристикою методу SDS-30 є висока

кореляційна залежність показника (0,87–0,92) з міжнародно визнаними показниками хлібопекарської якості борошна пшениці — силою борошна та індексом еластичності. Принциповою відмінністю цього методу є його здатність відтворювати в ході аналізу процеси полімеризації і гідролітичного розщеплення білків клейковини, що відбуваються в тісті під час змішування борошна з водою, та подальшого набухання часточок борошна в середовищі з детергентом — додецилсульфатом натрію (SDS).

Експериментальні дані оброблено статистично загальноприйнятими методами [15], достовірність різниці оцінено за критерієм Стьюдента.

### Результати та обговорення

Якість зерна — це комплексна ознака, яка визначається багатьма окремими параметрами, серед яких вміст і якість сумарного білка та клейковини, борошномельні властивості, натура зерна, показник седиментації, твердозерність, сила борошна тощо. Вміст білка і клейковини в зерні визначає його біологічну повноцінність і харчові переваги, формує унікальну для пшениці хлібопекарську властивість [16]. Цей показник тісно корелює із вмістом сирої клейковини, силою борошна, валометричною оцінкою тіста, загальною оцінкою хліба [4]. Показники вмісту та якості клейковини дають надійніші дані про хлібопекарські властивості сортів пшениці, ніж оцінка на основі вмісту білка в зерні [17]. Ознака твердозерності пшениці визначає енергію помелу, комерційний вихід і технологічну якість борошна, водовбирну здатність, діловий вихід хліба та його якість [18]. Показник седиментації (SDS-30) відображає фактичну силу білково-протеїназного комплексу і є альтернативою методу визначення кількості та якості клейковини [18, 19].

З метою вивчення якості зерна виділених за продуктивністю мутантних зразків пшениці ми визначали показники вмісту білка, сирої клейковини, седиментації (SDS-30) і твердозерності. У виділених мутантів сорту Альбатрос одеський вміст білка в зерні коливався в межах 12,4–13,1 %, що здебільшого істотно менше від показника вихідної форми — 13,0 % (табл. 1). Найвищим вмістом загального білка в зерні (13,1 %), який статистично достовірно не відрізнявся від рівня вихідної форми, характеризувався зразок № 5561. Цей мутант також виявився одним із найбільш високоврожайних (+3,4 ц/га до вихідного сорту і +5,2 ц/га до стандарту) серед виділених продуктивних форм [20]. Відповідно білкова продуктивність його (10,6 ц/га) істотно вища, ніж у вихідної форми (10,2 ц/га). Серед мутантних зразків виділено № 5557 і № 5570 (місця походження відповідно с. Чистогалівка й рекультивована ділянка полігону ТОВ «Оріана Галев», м. Калуш), що мали статистично достовірно нижчий вміст загального білка в зерні, але через зростання врожайності зберігали показник білкової продуктивності на рівні вихідного сорту.

Вміст сирої клейковини в ендоспермі зерна виділених за продуктивністю мутантів сорту Альбатрос одеський становив 25,9–27,5 % і здебільшого був статистично достовірно меншим від показників

ТАБЛИЦЯ 1. Показники якості зерна продуктивних мутантів покоління  $M_6$  озимої пшениці сорту Альбатрос одеський, індукованих техногенним забрудненням навколишнього середовища

Польовий номер зразка	Місце походження	Вміст білка, %	Білкова продуктивність, ц/га	Вміст клейковини, %	Показник седиментації SDS-30, мл	Твердозерність
5556	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*
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	Територія сховища пестицидів, с. Джурин	12,7*	9,6*	26,7*	78	54
5565	Територія сховища пестицидів, с. Джурин	12,7*	9,5*	26,5*	85*	38*
5566	Полігон ТОВ «ОріанаГалев», м. Калуш	12,7*	9,4*	26,8*	87*	40*
5567	Полігон ТОВ «ОріанаГалев», м. Калуш	12,5*	9,7*	26,3*	88*	43*
5568	Полігон ТОВ «ОріанаГалев», м. Калуш	12,6*	9,8*	26,5*	84*	44*
5569	Рекультивована ділянка полігону ТОВ «ОріанаГалев», м. Калуш	12,5*	9,7*	26,3*	85*	48*
5570	Рекультивована ділянка полігону ТОВ «ОріанаГалев», м. Калуш	12,6*	10,1	26,5*	83*	34*
	<i>m</i> , %	0,39	0,92	0,45	2,18	3,68
	НІР <sub>0,05</sub>	0,14	0,28	0,34	5,1	4,8

\* Різниця відносно вихідного сорту статистично достовірна за  $p \leq 0,05$ .

вихідної форми — 27,5 %. Найвищим вмістом сирової клейковини, що істотно не відрізнявся від виявленого у вихідної форми, характеризувалися мутантні зразки № 5561 (27,5 %) та № 5557 (27,0 %), індуковані відповідно впливом забруднень викидів Бурштинської ТЕС та радіонуклідних забруднень території с. Чистогалівка.

Показник седиментації у виділених мутантів становив 65—92 мл за контрольного показника вихідної форми 75 мл. Він істотно зростає у мутантних зразках № 5563 (92 мл), № 5559, № 5567 (88 мл), № 5566 (87 мл), № 5560 (86 мл), № 5565, № 5569 (85 мл), № 5568 (84 мл), № 5570 (83 мл), № 5557 (81 мл). Із них лише у зразках № 5557, № 5560, № 5567, № 5569 середня врожайність зростала. Проте в мутантних зразках № 5558, № 5561, що характеризувались стійко високою врожайністю, показник седиментації був найнижчим і становив відповідно 65 і 80 мл.

Досліджені мутанти сорту Альбатрос одеський за показником твердозерності, що становив 34—54, значно поступалися вихідній формі (57). Найвище його значення — 54 — виявлено в зразку № 5564 (територія сховища пестицидів, с. Джурин), який за врожайністю істотно поступався вихідній формі. Показник твердозерності високоврожайних мутантних зразків № 5557, № 5558, № 5560, № 5561 був статистично достовірно нижчим від показника вихідної форми і становив 45—50.

Вміст білка в зерні виділених продуктивних мутантів пшениці сорту Зимоярка коливався в межах 12,1—13,5 % за показників вихідної форми 12,9 %. Істотне зростання вмісту загального білка виявлено у зразках № 5576 (с. Янів) — 13,5 %, № 5575 (с. Копачі) — 13,3 %, № 5591 (промислова зона Інгільської шахти) — 13,2 %, що на 2,3—4,7 % (відн.) перевищував контрольний показник (табл. 2). Однак серед них лише мутант № 5575 характеризувався підвищеною врожайністю (+4,9 ц/га до вихідного сорту) [20], що надає йому особливої цінності при подальшій селекційній роботі. Мутантні високопродуктивні зразки № 5577 (с. Янів), № 5578 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), № 5584 (ДВК «СЗТТТПВ» м. Харків), № 5589 (територія сховища біля станції «Затишшя»), № 5590 (територія хвостосховища «Сухачівське, секція 1») за вмістом білка в зерні порівнювані з вихідною формою. Підвищення врожайності мутантів № 5579, № 5580 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка) супроводжувалося статистично достовірним зниженням вмісту загального білка, який становив 12,5 %. Для встановлення зв'язку між врожайністю зерна і вмістом у ньому білка визначено білкову продуктивність досліджуваних мутантних форм. Істотно більші кількості протеїну з одиниці площі (10,0—10,4 ц/га) продукували зразки № 5575, № 5576, № 5577, індуковані радіонуклідним забрудненням зони відчуження ЧАЕС, та № 5578, № 5580, індуковані забрудненням ґрунту важкими металами поблизу вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка.

Подібна тенденція зберігалась і за вмістом в ендоспермі зернівок сирої клейковини, що становив 25,4—28,6 % за показника вихідної форми 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 Інгільської шахти) — 27,9 %, серед яких лише № 5575 і № 5577 характеризувалися вищою порівняно з вихідною формою врожайністю.

Статистично достовірної різниці за вмістом сирої клейковини в зерні між високопродуктивними мутантними формами № 5578

ТАБЛИЦЯ 2. Показники якості зерна продуктивних мутантів покоління  $M_6$  озимої пшениці сорту Зимоярка, індукованих техногенним забрудненням навколишнього середовища

Польовий номер зразка	Місце походження	Вміст білка, %	Білкова продуктивність, ц/га	Вміст клейковини, %	Показник седиментації SDS-30, мл	Твердозерність
5574	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*
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»	12,2*	8,7*	25,6*	52*	55
5584	ДВК «СЗТПТПВ»	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	Територія сховища пестицидів біля станції «Затишшя»	13,0	9,2	27,3	53*	57
5590	Територія хвостосховища «Сухачівське, секція І»	13,0	9,0	27,4	55*	58
5591	Промислова зона Інгільської шахти	13,2*	8,8*	27,9*	64*	55
5592	Промислова зона Смолінської шахти	12,9	8,6*	27,3	61	57
5593	Промислова зона Смолінської шахти	12,8	8,1*	26,9	63	61*
	<i>m</i> , %	0,62	1,54	0,69	1,98	2,66
	НІР <sub>0,05</sub>	0,22	0,44	0,53	3,1	4,2

\* Різниця відносно вихідного сорту статистично достовірна за  $p \leq 0,05$ .

(вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), № 5584 (промислова зона ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків), № 5589 (територія сховища біля станції «Затишшя»), № 5590 (територія хвостосховища «Сухачівське, секція 1») і вихідною формою не виявлено. Істотно нижчим рівнем клейковини в зерні (26,2—26,3 %) характеризувались мутанти № 5579, № 5580 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), які вирізнялись високою середньою врожайністю (відповідно +3,6 і +9,0 ц/га до вихідної форми) [20].

Показник седиментації білкового комплексу борошна у мутантних зразках пшениці сорту Зимоярка варіював у межах 48—64 мл. Істотне його зростання (64 мл) відносно вихідної форми (60 мл) виявлено в мутантів № 5587 (КП «Лубниводоканал») і № 5591 (промислова зона Інгульської шахти), врожайність яких була на рівні вихідного сорту або дещо нижчою. Мутантні форми з високою загальною продуктивністю за показником седиментації істотно поступалися вихідному сорту, а найбільш високоврожайний мутантний зразок № 5580 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка) за цим показником (48 мл) мав найнижчу якість зерна. Селекційно-цінним може бути мутантний зразок № 5584 (ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків), у якого приріст середньої врожайності на 1,5 ц/га супроводжувався збереженням вмісту білка, клейковини і показника седиментації на рівні показників вихідного сорту.

Серед досліджених продуктивних мутантних форм виявлено низку зразків, що вирізнялися статистично достовірним зростанням показника твердозерності, який варіював у межах 34—67, за показника у вихідної форми 54. Вдалим поєднанням показників твердозерності на рівні 61—67 та високої врожайності характеризувались зразки № 5577 (с. Янів), № 5578 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), № 5584 (ДВК «СЗТПТПВ», м. Харків). У деяких мутантів — № 5579 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), № 5589 (територія сховища біля станції «Затишшя»), № 5590 (територія хвостосховища «Сухачівське, секція 1») разом із зростанням врожайності зберігався показник твердозерності на рівні вихідної форми (56—58). Мутант № 5580 (вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка), що мав найвищу врожайність, характеризувався низьким показником твердозерності, що становив 34.

Таким чином, у продуктивних мутантів озимої пшениці, індукованих техногенним забрудненням навколишнього середовища, відбуваються як позитивні, так і негативні зміни показників якості зерна. У більшості високоврожайних мутантних зразків показники вмісту білка і клейковини в зерні, показник седиментації та твердозерність відповідають рівню вихідної форми або істотно йому поступаються. Серед продуктивних мутантів виявлено зразки № 5561 сорту Альбатрос одеський та № 5575 сорту Зимоярка, індуковані відповідно забрудненнями викидів Бурштинської ТЕС і радіонуклідним забрудненням 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,



№ 5570 сорту Альбатрос одеський, індуковані відповідно дією техногенного забруднення територій с. Чистоголівка і полігону токсичних відходів ТОВ «ОріанаГалев», м. Калуш, унаслідок високої врожайності зберігали білкову продуктивність на рівні вихідної форми. Мутантні зразки № 5576, № 5577, № 5578, № 5580 сорту Зимоярка, індуковані забрудненням ґрунту радіонуклідами зони відчуження ЧАЕС та важкими металами поблизу вул. Б. Хмельницького, м. Костянтинівка, в результаті зростання вмісту білка в зерні або підвищення врожайності продукували істотно більше протеїну з одиниці площі.

Отже, за використання дії природних і техногенних мутагенних чинників навколишнього середовища можна поліпшувати показники якості зерна пшениці й одночасно зберігати потенціал урожайності вихідного сорту.

#### ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Waugh R., Leader D.J., McCallum N., Caldwell D. Harvesting the potential of induced biological diversity. *Trends in Plant Science*. 2006. N 11. P. 71–79.
2. Моргун В.В., Рибалка О.І. Стратегія генетичного поліпшення зернових злаків з метою забезпечення продовольчої безпеки, лікувально-профілактичного харчування та потреб переробної промисловості. *Вісник НАН України*. 2017. № 3. С. 54–64. <https://doi.org/10.15407/visn2017.03.054>
3. Гусейнов С.И. Ценные сортообразцы мягких сортов пшеницы для селекции на качество. *Таврический научный обозреватель*. 2015. № 3. С. 1–4.
4. Митрофанова О.П., Хакимова А.Г. Новые генетические ресурсы в селекции пшеницы на увеличение содержания белка в зерне. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016. 20, № 4. С. 545–554. <https://doi.org/10.18699/VJ16.177>
5. Самофалов А.П. Изменение основных хозяйственно-биологических признаков и свойств у озимой мягкой пшеницы в процессе селекции: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. зерноград, 2003. 20с.
6. Кротова Л.А., Поползухина Н.А. Влияние химических и биологических мутагенов на взаимосвязи количественных признаков у мягкой пшеницы. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2011. 75, № 1. С. 45–48.
7. Поползухина Н.А., Рутц Р.И. Индуцированный мутагенез и гибридизация в решении проблемы качества зерна яровой мягкой пшеницы. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2006. № 3. С. 3–4.
8. Эйгес Н.С. Историческая роль Иосифа Абрамовича Рапопорта в генетике. Продолжение исследований с использованием метода химического мутагенеза. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2013. 17, № 1. С. 162–172.
9. Huaili Q., Lanming X., Fei H. Biological effect of the seeds of *Arabidopsis thaliana* irradiated by MeV protons. *Radiation Effect & Defects in Solids*. 2005. 160. P. 131–136.
10. Li-Jun W., Jiang-Long X., Jun-Min W. A comparative study on mutagenic effects of Space Flight and Irradiation of  $\gamma$ -rays on rice. *Agricultural Sciences in China*. 2006. 5, N 11. P. 812–819.
11. Якимчук Р.А. Ефективність використання мутацій, індукованих на радіаційно забруднених територіях, при поліпшенні сортів озимої пшениці. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2018. 23. С. 170–175.
12. Yakumchuk R., Sorokina S. The analysis of mutation variability of winter wheat under soil contamination with heavy metals of industrial discharges. *Science Rise: Biological Science*. 2017. N 1. P. 50–55. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2017.93799>
13. Якимчук Р.А. Мутаційна мінливість *Triticumaestivum*L. за умов забруднення ґрунту пестицидами й токсичними відходами. *Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія*. 2016. Вип. 3, № 39. С. 72–80.
14. Рибалка О.І., Червоніс М.В., Литвиненко М.А. Оцінка якості зерна пшениці на ранніх етапах селекції. *Вісник аграрної науки*. 2009. № 1. С. 44–48.

15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). Москва: Колос, 1985. 351 с.
16. Хлесткина Е.К., Пшеничникова Т.А., Усенко Н.И., Отаманова Ю.С. Перспективные возможности использования молекулярно-генетических подходов для управления технологическими свойствами зерна пшеницы в контексте цепочки «зерно—мука—хлеб». *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016. **20**, № 4. С. 511—527. <https://doi.org/10.18699/VJ15.140>
17. Герман М.М., Міщенко О.В. Динаміка накопичення сухої речовини зерна пшениці м'якої озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2014. № 1. С. 14—16.
18. Рибалка О.І. Якість пшениці та її поліпшення. Київ: Логос, 2011. 496 с.
19. Моргун В.В., Січкач С.М., Починок В.М., Нінієва А.К., Чугункова Т.В. Характеристика колекційних зразків спельти (*Triticum spelta* L.) за елементами структури продуктивності та хлібопекарською якістю. *Физиология растений и генетика*. 2016. **48**, № 2. С. 112—119.
20. Якимчук Р.А. Генетичні наслідки забруднення навколишнього середовища природними і техногенними мутагенними чинниками: автореф. дис. ... д-ра. біол. наук. Київ, 2018. 44 с.

Отримано 20.01.2020

#### REFERENCES

1. 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.
2. Morgun, V.V. & Rybalka, O.I. (2017). Strategy of cereals genetic improvement aimed at food safety, health promotion and industry needs. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, No. 3, pp. 54-64 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/visn2017.03.054>
3. Guseynov, S.I. (2015). Valuable varieties of soft wheat cultivars for quality selection. *Tavrisheskiy nauchnyiy obozrevatel*, No. 3, pp. 1-4 [in Russian].
4. Mitrofanova, O.P. & Hakimova, A.G. (2016). New genetic resources in the selection of wheat to increase the protein content in grain. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*, 20, No. 4, pp. 545-554 [in Russian]. <https://doi.org/10.18699/VJ16.177>
5. Samofalov, A.P. (2003). Change in the main economic and biological characteristics and properties of winter common wheat in the process of selection (Extended abstract of candidate thesis). All-Russian Research Institute of Grain Crops, Zernograd, Russia, 20 p. [in Russian].
6. 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].
7. Popolzuhina, N.A. & Rutts, R.I. (2006). Induced mutagenesis and hybridization in solving the problem of grain quality of spring soft wheat. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skohozyaystvennyih nauk*, No. 3, pp. 3-4 [in Russian].
8. Eyges, N.S. (2013). The historical role of Rapoport in genetics. Continued research using chemical mutagenesis method. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*, 17, No. 1, pp.162-172 [in Russian].
9. Huaili, Q., Lanming, X. & Fei, H. (2005). Biological effect of the seeds of *Arabidopsis thaliana* irradiated by MeV protons. *Radiation Effect & Defects in Solids*, No. 160, pp. 131-136.
10. Li-Jun, W., Jiang-Long, X. & Jun-Min, W. (2006). A comparative study on mutagenic effects of space flight and irradiation of r-rays on rice. *Agricultural Sciences in China*, 5, No. 11, pp. 812-819.
11. Yakymchuk, R.A. (2018). Effectiveness of using mutations induced in radiation-contaminated territories in improving winter wheat varieties. *Fakty eksperymentalnoi evoliutsii orhanizmiv*, No. 23, pp. 170-175 [in Ukrainian].
12. Yakymchuk, R. & Sorokina, S. (2017). The analysis of mutation variability of winter wheat under soil contamination with heavy metals of industrial discharges. *Science*

- Rise: Biological Science, No. 1, pp. 50-55. <https://doi.org/10.15587/2519-8025.2017.93799>
13. Yakymchuk, R.A. (2016). Mutational variability of *Triticum aestivum* L. under soil contamination with pesticides and toxic wastes. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu. Seriya: Biologiya*, 3, No. 39, pp.72-80 [in Ukrainian].
  14. 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].
  15. Dospheov, B.A. (1985). *Field experiment methodology (with the basics of statistical processing of research results)*. Moskva: Kolos, 351 p. [in Russian].
  16. Hlestkina, E.K., Pshenichnikova, T.A., Usenko, N.I. & Otamanova Yu.S. (2016). Prospective applications of molecular genetic approaches to control technological properties of wheat grain in the context of the «grain—flour—bread» chain. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii*, 20, No. 4, pp. 511-527 [in Russian]. <https://doi.org/10.18699/VJ15.140>
  17. Herman, M.M. & Mishchenko, O.V. (2014). Dynamics of dry winter wheat grain accumulation. *Visnyk Poltavskoi derzhavnoi ahrarnoi akademii*, No. 1, pp. 14-16 [in Ukrainian].
  18. Rybalka, O.I. (2011). *Wheat quality and its improvement*. Kyiv: Lohos, 496 p. [in Ukrainian].
  19. Morgun, V.V., Sichkar, S.M., Pochynok, V.M., Niniieva, A.K., & Chuhunkova, T.V. (2016). Characterization of spelt collection samples (*Triticum spelta* L.) by elements of plant productivity structure and baking quality. *Fiziol. rast. genet.*, 48, No. 2, pp. 112-119 [in Ukrainian].
  20. Yakymchuk, R.A. (2018). Genetic consequences of the contamination of the environment with natural and technogenic mutagenic factors. (Extended abstract of Doctor thesis). Institute of Plant Physiology and Genetics, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].

Received 20.01.2020

GRAIN QUALITY OF PRODUCTIVE *TRITICUM AESTIVUM* L. MUTANTS, INDUCED BY TECHNOGENIC CONTAMINATION 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  
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University  
2 Sadova St., Uman, 20300, Ukraine  
e-mail: peoplenature16@gmail.com

As the result of studying *Triticum aestivum* L. mutants, induced by the contamination of the environment with mutagenic factors, the samples with higher productivity were singled out. Taking into consideration the fact that the development of high yielding and high quality cultivars is a priority national task of current wheat breeding, the aim of the research was to study some parameters of grain quality of productive *T. aestivum* mutants and to find out the possibility to use technogenic contaminated territories when developing valuable material for breeding. Mutant samples of winter wheat cultivars Albatros odeskyi and Zymoiarika from previous testing ( $M_6$ ), induced by the radionuclide contamination of the alienation zone of Chornobyl NPP and the industrial zone of uranium mining enterprises, by heavy metals of the areas adjacent to thermal power stations and metallurgical enterprises, by xenobiotics of pesticide and toxic waste warehouses were analyzed. Grain quality was determined by the parameters of the protein and gluten content, by the indices of grain hardness and sedimentation SDS-30. The highest protein and raw gluten content was typical for high yielding mutant samples, induced under the effect of discharges of Burshtyn ThPS, the radionuclide contamination of the alienation zone of Chornobyl NPP and the industrial zone of

Ingulsk mine. The sedimentation index of protein complex of mutant samples flour ranged within 65–92 ml for cultivar Albatros odeskyi and 48–64 ml for cultivar Zymoiarka. Its significant increase was observed in the mutants the yield capacity of which did not exceed that of an initial cultivar. The studied mutants of Albatros odeskyiby cultivar by the index of grain hardness did not equal the control considerably. The samples of Zymoiarka cultivar were characterized by a proper combination of indices of grain hardness at the level 61–67 and high yield capacity which occurred under the effect of the radionuclide contamination of the alienation zone of Chernobyl NPP and the heavy metal discharges of the industrial enterprises. A number of highly productive mutants were identified which, due the increase of grain protein content and enhanced yield capacity, had the protein output per area unit that exceeded the index of the initial cultivar considerably. Using the effect of technogenic mutagen factors of the environment, it is possible to improve the quality of wheat grain and at the same to retain the yield capacity potential of the initial cultivar.

*Key words:* *Triticum aestivum* L., mutagen factors, grain quality, gluten, grain hardness, protein productivity.