

УДК 633.11: 577.11

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2024.2\(55\).320488](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2024.2(55).320488)

**Я. С. Фанін**<sup>1</sup>, PhD; <https://orcid.org/0000-0003-3129-7583>

**М. А. Литвиненко**<sup>1</sup>, академік НААН, д.б.н.;

<https://orcid.org/0000-0002-8605-6587>

**О. О. Молодченкова**<sup>1</sup>, д.б.н.; <https://orcid.org/0000-0003-2511-0866>

**І. А. Міщенко**<sup>2</sup>, к.е.н.; <https://orcid.org/0000-0002-2919-8546>

**І. І. Моцний**<sup>1</sup>, к.б.н.; <https://orcid.org/0000-0002-1812-9481>

**А. А. Дуніч**<sup>3</sup>, к.б.н.; <https://orcid.org/0000-0001-9614-3441>

**Л. Т. Міщенко**<sup>3</sup>, д.б.н., професор; <https://orcid.org/0000-0003-0697-6971>

<sup>1</sup>Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення, Овідіопольська дор., 3, м. Одеса 65036, Україна

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

<sup>3</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ГЕНЕТИЧНИХ ДЖЕРЕЛ ВИСОКОЇ БІЛКОВОСТІ ЗЕРНА ТА УРОЖАЙНОСТІ ВІД *AEGILOPS TAUSCHII* ТА *TRITICUM DICOCOIDES*

Досліджено вплив генів від *Aegilops tauschii* та *Triticum dicoccoides* на врожайність, седиментацію та основні біохімічні показники якості зерна пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.). При виконанні досліджень використано 5 ліній з геном *Gpc-B1* від *T. dicoccoides* та 18 ліній з генами високої білковості від *Ae. tauschii*. Як контроль були залучені сорти, які найбільш розповсюджені на півдні України та є стандартами врожайності і адаптивності та сорти ранніх етапів селекції, які є еталоном за показниками якості зерна. За результатами досліджень були встановлені значні позитивні впливи генів від *Ae. tauschii* та *T. dicoccoides* на показники якості зерна. Досліджені лінії можна розглядати як джерело господарсько-цінних ознак та залучати їх до селекційних програм для покращення біохімічних показників якості зерна.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum* L., врожайність, мікроелементи, біохімічні показники, якість зерна, віддалена гібридизація.

### Вступ

Однією з найважливіших вимог до сучасного виробника є отримання високих валових зборів зерна пшениці з високими якісними показниками, в реалізації яких провідну роль відіграє білок. Крім того, формування високих хлібопекарських якостей можливе лише за достатньо високого вмісту білка в борошні [1]. Тому проблема генетичного поліпшення вмісту білка є одним з найважливіших наукових і практичних завдань селекції, які традиційно є гострими,

а іноді навіть дискусійними [2-4]. Хоча у світі давно відомі зразки пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) з високим вмістом білка (на 2-3% вище стандартів), вони не завжди проявляють свої переваги при висіві в інших екологічних або агротехнічних умовах [5], іноді формуючи дрібне та щупле зерно. Зокрема, це може бути через ураження їх вірусними та грибовими хворобами [6, 7]. Існування оберненої залежності між вмістом білка та продуктивністю рослин, відсутність надійних генетичних джерел ознаки та сильна залежність варіювання ознаки від факторів навколишнього середовища призводять до значних труднощів, і навіть викликають певний скептицизм щодо селекції на високий вміст білка, принаймні шляхом внутрішньовидової гібридизації.

Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є схрещування віддалених видів з високоврожайними сортами, що може значно підвищити вміст білка в отриманих лініях [8, 9]. Однак сорти, отримані в результаті міжвидової гібридизації, зазвичай поступаються батьківським формам і стандартам, особливо за продуктивністю та масою 1000 зерен, з якими часто небажано корелює вміст білка. Це можна пояснити багатьма факторами, включаючи неефективні процеси інтрогресії та цитологічну або генетичну нестабільність інтрогресивного матеріалу. Схрещування з видами, які мають однаковий з пшеницею геном, особливо з донором геному *D Aegilops tauschii* Coss., видаються більш перспективними в цьому відношенні, оскільки завдяки цьому геному пшениця м'яка набула високих хлібопекарських властивостей, хорошої адаптивності та інших позитивних характеристик, які роблять її найважливішою хлібною рослиною в світі. Цей геном від *Aegilops tauschii* також пов'язаний з низкою негативних рис, які потребують поліпшення, включаючи сприйнятливність до грибних хвороб і низький вміст білка в зерні. Використання 42-хромосомних амфідиплоїдів, одержаних від схрещування тетраплоїдних видів пшениці з *A. tauschii*, дає можливість перенести в геном пшениці не тільки окремі гени якісних ознак *A. tauschii*, але й цілі полігенні системи, що контролюють кількісні ознаки, такі як стійкість до хвороб, розмір зерна та вміст білка, шляхом звичайної гомологічної кон'югації хромосом з D-геномів пшениці та дикого виду [7, 10]. Також, перспективним напрямом на покращення біохімічних показників зерна є інтрогресія гена *Gpc-B1* від *T. dicoccoides* [11].

Метою досліджень було, оцінка за продуктивністю та показниками якості інтрогресивних ліній з геном *Gpc-B1* і генами від *Ae. tauschii* за різних умов років і варіантах внесення добрив з подальшим порівнянням кращих інтрогресивних ліній з сортами стандартами – носіями різних генетичних систем.

### Матеріали та методи досліджень

Польові дослідження проводилися по чорному пару на дослідній ділянці відділу селекції та насінництва пшениці Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства і сортовивчення (СГІ–НЦНС) у період 2020–2022 рр.

Матеріалом для дослідження були 18 інтрогресивних ліній з генами високої стійкості до низки хвороб, крупнозерності та білковості від *A. tauschii*, отримані в результаті 3–10 насичених схрещувань адаптивних сортів пшениці Одеська 267, Зміна, Альбатрос з штучними видами пшениці та амфідиплоїдами, схрещування сорту Селянка з мексиканськими елітними синтетиками (амфідиплоїдами *T. durum* Desf./*Ae. tauschii* Coss.), які були створені к.б.н. І.І. Моцним [7, 12], та 5 ліній  $F_6$ – $F_7$ , отримані від схрещування сорту Куяльник (*T. aestivum*) з лінією – донором гена *Gpc-B1* від *T. turgidum* ssp. *dicoccoides*, отримані від член-кор. НАН та НААН, д.б.н. О.І. Рибалки.

Для виявлення агробіологічних особливостей інтрогресивних ліній з генами високого вмісту білка в зерні від *Ae. tauschii* та геном *Gpc-B1* були відібрані 8 сортів для порівняння, поділені на такі групи: Одеська 16 – високорослий сорт екстенсивного типу (СГІ–НЦНС) та Одеська 51 – високорослий сорт напівінтенсивного типу (СГІ–НЦНС), індикатори білковості; Куяльник – середньорослий сорт-стандарт, носій алелів високих хлібопекарських властивостей борошна (СГІ–НЦНС); Годувальниця – середньорослий сорт, носій алелів високих хлібопекарських властивостей борошна, Щедрість – низкорослий сорт, носій пшенично-житньої транслокації (ПЖТ) – (1BL.1RS) (СГІ–НЦНС), Дума (СГІ–НЦНС) та Новосмуглянка (Інститут фізіології рослин і генетики) – низкорослі сорти, носії пшенично-житньої транслокації (ПЖТ) – (1AL.1RS); та представник закордонної селекції – сорт Колонія (французька компанія «Лімогрейн»).

Посів проводився в оптимальні для півдня України строки. Польові досліді проводилися на ділянках 6 м<sup>2</sup>, в 3-х кратній повторності, в суцільному посіві, поділені на два варіанти за кількістю внесення азотних добрив (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) на 1 га: N60 і N120.

За даними Гідрометеорологічного Центру Чорного та Азовського морів, у вегетаційний рік 2020/21 випало 500 мм, що на 70% більше, ніж в наступний рік досліджень. Цей рік можна вважати оптимальним для вегетації за абіотичними факторами. У 2021/22 вегетаційний рік випало 300 мм, але на відміну від 2021 року, в березні-квітні рівень опадів був дещо вищим. Другий рік досліджень можна вважати посушливим, що робить їх контрастними за опадами. Загальний вміст білка/азоту визначали методом К'ельдаля на автоматичному аналізаторі Kjeltex Auto 1030 ("FOSS") [13]. Рівень седиментації визначався методом із попереднім автолізом, зокрема, методом SDS-30 [14]. Визначення вмісту мінералів – Mg та Fe проводилися за загально прийнятими методиками [15].

Дані опрацьовували за допомогою трьохфакторного і двофакторного ієрархічного дисперсійного аналізу – (ANOVA) за допомогою програмного забезпечення Statistica 8 (StatSoft Inc.). Для порівняння середніх значень ( $\bar{X}$ ) використовували найменшу істотну різницю (НІР<sub>0,05</sub>), розраховану для відповідного фактору чи взаємодії за Б.А. Доспеховим [16], і рівень статистичної значущості (*p*). Визначені нами показники наводяться в таблицях і тексті з уніфікованими

позначеннями їхньої вірогідності: \*, \*\* і \*\*\* – вірогідні при  $p < 0,05, 0,01$  і  $0,001$  рівні значущості, відповідно.

Перелік скорочень: ПЖТ - пшенично-житньої транслокації; МТЗ – маса тисячі зерен.

### Результати та їх обговорення

Аналізуючи отримані результати методом дисперсійного аналізу варто зазначити, що групування ліній в фактор «Генотип», з градаціями: старі стандарти, нові стандарти, сорти з ПЖТ, лінії без *Gpc-B1*, лінії з *Gpc-B1* та лінії від *Ae. tauschii* виявило вірогідність самостійного впливу цього фактора на всі ознаки, крім МТЗ (табл. 1). Вірогідним виявився також вплив взаємодії цього фактора з умовами досліду («Рік дослідження» – фактор В та «Доза добрив» – фактор С) на ознаки врожайності і збір білка. Невірогідними були всі потрійні взаємодії за участю фактора А «Генотип», був вплив умов досліду (фактори В і С).

Такі результати дисперсійного аналізу зумовили характер представлення факторіальних середніх за дослідженими показниками в таблицях 2 і 3. При цьому було виявлено, що в цілому за фактором А врожайність ліній з геном *Gpc-B1* і ліній з генами високої білковості від *Ae. tauschii* мала несуттєву різницю (табл. 2) і відрізнялася від урожайності інших градацій за фактором А, зокрема поступалася урожайності генотипу без *Gpc-B1*. Крім того, генотип *Gpc-B1+* мав найвищий у досліді вміст і збір білка, та седиментацію SDS-30, найменшу масу 1000 зернин, а за абсолютним вмістом білка в 1000 зернин поступався лише старим сортам-стандартам високої білковості (табл. 2). Вказане цілком відповідає даним літератури [17]

Подібна, хоча і дещо інша картина спостерігалася при аналізі взаємодій досліджених факторів. Так, в середньому за лініями з геном *Gpc-B1* врожайність у варіанті N60 складала 5,62 т/га та 5,48 т/га за лініями з генами від *Ae. tauschii*, різниця складала 0,14 т/га при  $HP_{0,05}$ , за взаємодії факторів А×С («Генотип» × «Доза добрив») – 0,20 т/га, тобто різниця була несуттєвою. Аналогічна ситуація спостерігалася у варіанті внесення добрив N120: для ліній з геном *Gpc-B1* врожайність в середньому складала 6,48 т/га, для ліній з генами від *Ae. tauschii* – 6,44 т/га (табл. 3). При чому у 2021 р. лінії з геном *Gpc-B1*, в середньому, переважали генотип без *Gpc-B1*, а в 2022 р., навпаки поступалися йому. За літературними даними, ген *Gpc-B1* не впливає на врожайність [18].

Незважаючи на середні показники за групами, де градації «Лінії з *Gpc-B1*» та «Лінії від *Ae. tauschii*» не мали суттєвої різниці між собою, були виділені окремі лінії, що значно вирізнялися врожайністю. Вплив фактора D «Лінія» на врожайність і збір білка був високовірогідний як самостійно, так і у всіх можливих взаємодіях з іншими факторами (табл. 1). Так, найбільшу врожайність у 2021 році у варіанті N60 з групи ліній з генами від *Ae. tauschii* мали лінії АІЛ96ф/18 – 6,66 т/га та Е1089/19 – 6,59 т/га, відповідно. Найурожайніша в цьому варіанті досліду лінія з геном *Gpc-B1* 9155 мала показник на рівні 6,37 т/га та поступалася найбільш врожайній лінії з генами від *Ae. tauschii* на 0,29 т/га ( $HP_{0,05}$  для взаємодії D×B×C = 0,62 т/га), що відповідає 4,5 % (табл. 4).

Таблиця 1.

## Результати дисперсійного аналізу досліджених показників

Джерело варіації	df	Ознаки, <i>mS</i>					
		урожай- ність	вміст білка	збір білка	МТЗ <sup>1)</sup>	АВБ <sup>1)</sup>	SDS-30 <sup>1)</sup>
<b>Трьохфакторний дисперсійний комплекс за участі фактора «Генотип»</b>							
Генотип (А)	5	29,6***	21,0***	0,387***	81,0***	2,23***	7542***
Рік дослідження (В)	1	106,6***	25,3***	0,779***	98,3***	9,69***	7007***
Доза добрив (С)	1	73,6***	115,0***	1,075***	6,5	19,4***	6132***
А×В	5	1,12***	0,85	0,027***	4,4	0,28	72
А×С	5	0,53**	0,49	0,012**	3,7	0,15	62
В×С	1	2,58***	0,00	0,034**	0,6	0,00	385**
А×В×С	5	0,23	0,38	0,006	0,7	0,10	11
Похибка	360	0,16	0,48	0,004	5,1	0,14	44
<b>Двофакторний ієрархічний дисперсійний комплекс</b>							
Генотип (А)	5	29,6***	21,0***	0,387***	81,0	2,23*	7542***
Лінія (D)	26	1,26**	3,99***	0,029*	60,5***	1,30***	339***
Похибка	352	0,61	0,62	0,017	1,2	0,13	60
<b>Трьохфакторний дисперсійний комплекс за участі фактора «Лінія»</b>							
Лінія (D)	31	5,83***	6,74***	0,087***	63,8***	1,45***	1501***
Рік дослідження (В)	1	106,6***	25,3***	2,45***	98,3***	9,69***	7007***
Доза добрив (С)	1	73,6***	115,0***	2,78***	6,5***	19,35***	6132***
Д×В	31	0,42**	0,43***	0,009**	2,5***	0,13***	52***
Д×С	31	0,22*	0,40***	0,004**	2,4***	0,12***	80***
В×С	1	2,58***	0,00	0,073***	0,6	0,00	385***
Д×В×С	31	0,12***	0,19	0,002**	0,6	0,04	12
Похибка	256	0,04	0,18	0,001	0,5	0,036	13

<sup>1)</sup> МТЗ – маса 1000 зернин; АВБ – абсолютний вміст білка в 1000 зернин; SDS-30 – седиментація SDS-30. \*, \*\* і \*\*\* – вірогідно при  $p < 0,05, 0,01$  і  $0,001$ , відповідно

У варіанті N120 найбільш продуктивні лінії з генами від *Ae. tauschii* E1089/19 і P1L634/18 мали врожайність на рівні 8,08 і 7,61 т/га, відповідно. Щодо ліній-носіїв гена *Gpc-B1*, то краща за врожайністю лінія 9200 *Gpc-B1+*, давши врожай 7,26 т/га, все ж поступалася кращим лініям з генами від *Ae. tauschii*.

Таблиця 2

**Середні значення досліджених ознак  
за фактором А (Генотип)**

Генотип (Фактор А)	Урожай- ність, т/га	Вміст білка, %	Збір білка, т/га	Маса 1000 зернин, г	Абсолютний вміст білка в 1000 зернин, г	Седи- ментація SDS-30, мл
Індикатори білковості <sup>1)</sup>	3,65	12,7	0,46	38,0	4,83	53,6
Нові стандарти <sup>2)</sup>	6,22	11,7	0,73	37,5	4,39	61,6
Сорти з ПЖТ <sup>3)</sup>	6,64	11,1	0,74	37,8	4,20	39,7
Лінії без <i>Gpc-B1</i>	6,20	12,3	0,77	36,8	4,54	68,0
Лінії з <i>Gpc-B1</i>	6,05	13,0	0,79	36,4	4,73	77,6
Лінії від <i>Ae. tauschii</i>	5,96	12,0	0,72	39,1	4,69	67,7
НІР <sub>0,05</sub> по фактору	0,14	0,2	0,02	0,8	0,13	2,3

<sup>1)</sup>При рівня значущості  $p < 0,05$  <sup>2)</sup> Сорти Одеська 16 і Одеська 51; <sup>3)</sup> сорти Куяльник, Годуваль-  
ниця і Колонія; <sup>4)</sup> ПЖТ – пшенично-житні транслокації 1AL.1RS і 1BL.1RS

Таблиця 3

**Середні значення врожайності і збору білка інтрогресивних ліній та сортів-  
стандартів в залежності від поділу на групи, дози добрив та року досліджень  
(взаємодії факторів А×В і А×С, фактори В і С), т/га**

Генотип (Фактор А)	Урожайність				Збір білка			
	Рік дослідження (Фактор В)		Доза добрив, кг/га. (Фактор С)		Рік дослідження (Фактор В)		Доза добрив, кг/га. (Фактор С)	
	2021	2022	№60	№120	2021	2022	№60	№120
Індикатори білковості <sup>1)</sup>	3,78	3,51	3,50	3,79	0,48	0,45	0,42	0,50
Нові стандарти <sup>2)</sup>	6,66	5,77	5,84	6,59	0,81	0,66	0,65	0,81
Сорти з ПЖТ <sup>3)</sup>	7,20	6,09	6,17	7,11	0,83	0,65	0,66	0,82
Лінії без <i>Gpc-B1</i>	6,45	5,94	5,75	6,64	0,80	0,73	0,68	0,85
Лінії з <i>Gpc-B1</i>	6,65	5,45	5,62	6,48	0,88	0,70	0,70	0,89
Лінії від <i>Ae. tauschii</i>	6,53	5,38	5,48	6,44	0,80	0,63	0,63	0,81
НІР <sub>0,05</sub> взаємодії	0,20 (АВ)		0,20 (АС)		0,03 (АВ)		0,03 (АС)	
$\bar{X}$	6,45	5,40	5,49	6,36	0,80	0,64	0,63	0,80
НІР <sub>0,05</sub> по фактору	0,08 (В)		0,08 (С)		0,01 (В)		0,01 (С)	

<sup>1)</sup>При рівня значущості  $p < 0,05$  <sup>2)</sup> Сорти Одеська 16 і Одеська 51; <sup>3)</sup> сорти Куяльник, Годуваль-  
ниця і Колонія; <sup>4)</sup> ПЖТ – пшенично-житні транслокації 1AL.1RS і 1BL.1RS

Таблиця 4

**Врожайність інтрогресивних ліній та сортів-стандартів  
в залежності від дози добрив та року досліджень, т/га.**

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га, Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В $\bar{X}$
	2021 <sup>1</sup> р.	2022 <sup>1</sup> р.	$\bar{x}$	2021 <sup>1</sup> р.	2022 <sup>1</sup> р.	$\bar{x}$	
Одеська 16	3,08	3,01	3,05	3,53	3,54	3,54	3,29
Одеська 51	4,34	3,57	3,96	4,18	3,92	4,05	4,00
Куяльник	6,83	6,06	6,45	7,34	6,56	6,95	6,70
Щедрість	6,67	6,12	6,40	8,23	7,01	7,62	7,01
Дума	6,54	5,54	6,04	7,76	5,63	6,70	6,37
Годувальниця	5,94	5,07	5,51	7,17	5,52	6,35	5,93
Новосмуглянка	6,43	5,74	6,09	7,56	6,49	7,03	6,56
Колонія	5,84	5,34	5,59	6,87	6,06	6,47	6,03
$\bar{X}$	5,71	5,06	5,38	6,58	5,59	6,09	5,73
Лінії-носії гена <i>GPC-B1</i>							
9099 <i>GPC-B1</i> -	5,95	5,56	5,76	6,96	6,32	6,64	6,20
9155 <i>GPC-B1</i> +	6,37	4,85	5,61	7,05	5,77	6,41	6,01
9200 <i>GPC-B1</i> +	6,22	4,95	5,59	7,26	5,96	6,61	6,10
9250 <i>GPC-B1</i> +	6,23	5,03	5,63	7,13	5,84	6,49	6,06
9300 <i>GPC-B1</i> +	6,01	4,87	5,44	7,07	5,76	6,42	5,93
9525 <i>GPC-B1</i> +	5,75	5,57	5,66	6,89	5,88	6,39	6,02
$\bar{X}$	6,09	5,14	5,61	7,06	5,92	6,49	6,05
Лінії - носії генів високої білковості від <i>A. tauschii</i>							
E 1598/12	5,67	5,33	5,50	6,26	6,23	6,25	5,87
PI1799/16	6,20	4,58	5,39	6,89	5,51	6,20	5,80
PI1634/18	6,19	5,01	5,60	7,61	5,69	6,65	6,13
PI1814/13	5,69	4,66	5,18	6,74	5,11	5,93	5,55
AI1379/18	6,57	5,47	6,02	7,30	6,00	6,65	6,34
AI196ф/18	6,66	5,55	6,11	7,44	6,08	6,76	6,43
F268-14	5,60	4,58	5,09	6,75	5,15	5,95	5,52
PI1690/18	6,28	5,15	5,72	6,58	5,67	6,13	5,92
PI1747/18	5,83	4,78	5,31	7,42	5,63	6,53	5,92
H 242-197-2	5,90	4,83	5,37	7,42	5,33	6,38	5,87
E 175-09	5,64	4,62	5,13	7,40	5,52	6,46	5,80
E 1089-19	6,59	5,63	6,11	8,08	6,56	7,32	6,72
NIL2	5,40	4,65	5,03	6,47	5,65	6,06	5,54
NIL4	6,05	5,45	5,75	7,05	6,35	6,70	6,23
AI1327/18	6,08	5,28	5,68	7,48	6,16	6,82	6,25
AI1341/18	5,47	4,67	5,07	6,97	5,57	6,27	5,67
E2778/14	5,62	4,92	5,27	7,02	5,83	6,43	5,85
PI1355PH18	5,60	4,86	5,23	6,69	5,78	6,24	5,73
Фактор AC $\bar{X}$	5,95	5,00	5,47	7,09	5,77	6,43	5,95

Примітка: «<sup>1</sup>» – Фактор впливу А; при рівні значущості  $p < 0,05$ .



Для дослідження впливу гена *Gpc-B1* на продуктивність важливо було порівняти сестринські лінії з геном *Gpc-B1* і без нього. Лінія без гена *Gpc-B1* мала врожайність у 2021 році на рівні 5,95 і 6,96 т/га, відповідно до варіантів N60 і N120. Якщо порівнювати окремі лінії, то у варіанті N60 три з них з геном *Gpc-B1* (9155, 9200 і 9250) значно перевищували сестринську лінію без гена (6,37, 6,22 і 6,23 т/га, відповідно). У варіанті N120 лише одна лінія 9200 з геном *Gpc-B1* (7,26 т/га) значно перевищувала сестринську лінію без гена *Gpc-B1*.

Хоча інтрогресивні лінії з обох груп і поступалися найбільш продуктивному сорту-стандарту Щедрість, який мав врожайність у 2021 році на рівні 6,67 і 8,23 т/га у варіантах N60 і N120, відповідно, все ж вищезгадані (A1L96ф/18; E1089/19; P1L634/18; 9200 *Gpc-B1+*; 9155 *Gpc-B1+*) най-врожайніші інтрогресивні лінії переважали за врожайністю інші сорти-стандарты, наприклад, Колонію (5,84 і 6,67 т/га, відповідно до варіанту доз добрив N60 і N120), Годувальницю (5,94 і 7,17 т/га) та Куяльник (6,83 і 7,34 т/га). Це було менше від показника кращих за врожайністю ліній на 0,35 – 0,40 т/га при  $НП_{0,05}$  для взаємодії  $D \times B \times C = 0,62$  т/га. Необхідно зазначити, що виявилось доцільним порівнювати сорти-стандарты за врожайністю окремо по градаціям, тому що середнє значення продуктивності не було легітимним через значний розмах варіації. Це пов'язано з необхідністю включення в дослідження сортів ранніх етапів селекції (низькопродуктивних, високорослих, напівінтенсивного типу), метою чого було залучення стандартів саме за показником загального вмісту білка в зерні.

У 2022 р. загальна урожайність сортів і ліній помітно знизилась у порівнянні з минулим роком. Так, середня врожайність ліній з геном *Gpc-B1* склала 5,45 т/га, лінії з генами високої білковості від *Ae. tauschii* мали врожайність на рівні 5,38 т/га, що на 1,20 т/га (18,0 %) і 1,15 т/га (17,6 %) менше, ніж врожайність відповідних градацій 2021 року (табл. 3). (В цілому по матеріалу, урожайність знизилась на 16,3 %.) Отже, аналізуючи отримані дані за врожайністю, можна зробити такі висновки. Інтрогресивні лінії з геном *Gpc-B1* та з генами від *Ae. tauschii* дещо поступалися – на 14,5-18,1 % за врожайністю таким високоінтенсивним сортам, як Куяльник та Щедрість. Це пов'язано з тим, що головним фактором добору в досліді була якість зерна і, передусім, вміст білка в ньому. Але інтрогресивні лінії переважали чи мали однакову врожайність з усіма іншими сортами-стандартами, такими як Колонія, Годувальниця і високорослий сорт напівінтенсивного типу Одеська 51 (табл. 4).

Слід зазначити, що сестринські лінії з геном та без гена *Gpc-B1* в оптимальний за погодними умовами 2021 рік не мали значної різниці за врожайністю, тоді як в дефіцитний за опадами 2022 рік лінії з геном *Gpc-B1* вірогідно поступалися за врожайністю сестринській без гена на 8,2-10 % (табл. 3). Можна припустити, що в оптимальні умови року наявність гена *Gpc-B1* не призводить до зменшення врожайності, але при дефіциті вологи спостерігалось зменшення врожайності.



Вміст білка є одним з основних показників якості зерна та борошна, якому приділяється особлива увага при оцінці селекційного матеріалу. Через те, що саме білок і його якість були головними об'єктами наших досліджень, як і очікувалось, підвищення дози азотних добрив позитивно вплинуло на загальний вміст білка і залежний від нього збір білка (табл. 1 і 3). В середньому по матеріалу підвищення вмісту білка складало від 11,55 % (у варіанті N60) до 12,66 % (у варіанті N120) при  $HP_{0,05}$  за фактором С (Доза добрив) – 0,14 %. Крім того, нами було виявлено, що при збільшенні дози азотних добрив різниця між генетичними групами зростала. Порівнюючи результати з білковості зерна за два роки була виявлена загальна тенденція зменшення середніх значень вмісту білка врожаю 2022 року (в середньому по досліді – 11,8 %), проти результатів, одержаних у оптимальний за погодними умовами 2021 рік (в середньому – 12,4 %).

При аналізі отриманих результатів за вмістом білка за окремими лініями двох експериментальних генетичних груп (лінії з генами від *Ae. tauschii* та лінії з геном *Gpc-B1*) спостерігалася значна диференціація. Однак, порівнюючи найбільш високобілкові лінії із цих груп, виявлено, що різниця між ними складала не більше, ніж 0,40 % (за абсолютними значеннями) при  $HP_{0,05}$  за фактором D (Лінія) – 0,34 %. У 2021 р. найбільший вміст білка зерна у ліній з геном *Gpc-B1* мала лінія 9300 – 12,7 % і 14,0 % та лінія 9525 – 13,0 % й 14,2 %, відповідно до 2-х варіантів внесення добрив. З поміж ліній з генами від *Ae. tauschii* найвищий вміст білка був у лінії E1598/12 – 12,7 % та 13,9 %, а також у лінії F268/14 – 12,8 % і 13,8 %. Важливим є порівняння сестринських ліній з геном та без гена *Gpc-B1*. У варіанті внесення добрив N60 лінія без гена мала вміст білка на рівні 11,8 %, що на 1,2 % менше, ніж у лінії з найвищою білковістю ( $HP_{0,05}$  для взаємодії D×C («Лінія»×«Доза добрив») – 0,48 %). У варіанті внесення добрив N120 при вмісті білка у лінії без *Gpc-B1* – 13,0 %, різниця за вмістом білка між лініями склала 1,2 % (табл. 5). Отже, в умовах 2021 року лінії з геном *Gpc-B1* мали стабільну перевагу за вмістом білка над сестринською лінією без гена.

Щодо вмісту білка в зерні сортів-стандартів, то за два роки досліджень середній вміст його у варіанті N60 був 11,2 %, у варіанті N120 – 12,2 %. Порівнюванням цих показників з середньою білковістю зерна ліній з геном *Gpc-B1* було встановлено, що різниця на агрофоні N60 складала 1,2 %, на агрофоні N120 – 1,3 %. Різниця за вмістом білка зерна в середньому за всіма варіантами досліді між лініями з генами від *Ae. tauschii* і сортами-стандартами не переважала значення  $HP_{0,05}$  за фактором А («Генотип») – 0,24 %. Але, як вже відомо з попередніх досліджень, середній показник по вибірці не завжди може давати повне уявлення щодо досліджуваних ліній та їх показників. Також, бажано проводити порівняння дослідних генотипів з найбільш високобілковими сортами, до яких відносяться високорослі сорти Одеська 16 і Одеська 51. Встановлено, що у 2021 р. найбільш високобілкові лінії з геном *Gpc-B1* (9300, 9525) переважали в середньому на 0,6 % за вмістом білка ці сорти у варіанті N60 та на 1 % при N120, а похідні від *Ae. tauschii* на 0,5 % і 0,7 %, відповідно.

Таблиця 5

**Вміст білка зерна в інтрогресивних лінії та сортів-стандартів  
в залежності від дози добрив та року досліджень, %.**

Сорт, лінія Фактор В	Доза азотних добрив, N 60, кг/га. Фактор С			Доза азотних добрив, N 120, кг/га. Фактор С			Фактор В $\bar{X}$
	2021 <sup>1</sup> р.	2022 <sup>1</sup> р.	$\bar{x}$	2021 <sup>1</sup> р.	2022 <sup>1</sup> р.	$\bar{x}$	
Одеська 16	12,5	12,4	12,5	13,3	14,1	13,7	13,1
Одеська 51	12,0	11,5	11,8	13	12,7	12,9	12,3
Куяльник	11,9	11,7	11,8	13,1	12,5	12,8	12,3
Щедрість	11,4	10,5	11,0	12,4	10,7	11,6	11,3
Дума	10,5	9,9	10,2	11,1	10,5	10,8	10,5
Годувальниця	10,8	10,5	10,7	12,7	12,0	12,4	11,5
Новосмуглянка	11,2	10,8	11,0	12,5	11,4	12,0	11,5
Колонія	11,3	10,1	10,7	12,5	11,2	11,9	11,3
$\bar{X}$	11,5	10,9	11,2	12,6	11,9	12,2	11,3
Лінії - носії гена <i>GPC-B1</i>							
9099 <i>GPC-B1-</i>	11,8	12,0	11,9	13,0	12,5	12,8	12,3
9155 <i>GPC-B1+</i>	12,4	12,0	12,2	13,7	13,2	13,5	12,8
9200 <i>GPC-B1+</i>	12,5	12,5	12,5	13,6	13,2	13,4	13,0
9250 <i>GPC-B1+</i>	12,7	12,6	12,7	13,8	13,2	13,5	13,1
9300 <i>GPC-B1+</i>	12,7	12,2	12,5	14,0	13,6	13,8	13,1
9525 <i>GPC-B1+</i>	13,0	12,0	12,5	14,2	14,1	14,2	13,3
$\bar{X}$	12,5	12,2	12,4	13,7	13,3	13,5	12,9
Лінії - носії генів високої білковості від <i>A. tauschii</i>							
E 1598/12	12,7	12,2	12,5	13,9	13,9	13,9	13,2
PIL799/16	12,5	11,8	12,2	13,7	13,1	13,4	12,8
PIL634/18	11,5	10,9	11,2	12,3	12,3	12,3	11,8
PIL814/13	12,5	12,5	12,5	13,3	13,1	13,2	12,9
AIL379/18	12,6	11,6	12,1	13,3	13,3	13,3	12,7
AIL96ф/18	12,2	10,9	11,6	12,9	12,1	12,5	12,0
F268-14	12,8	11,8	12,3	13,6	12,0	12,8	12,6
PIL690/18	12,3	10,9	11,6	13,4	12,7	13,1	12,3
PIL747/18	12,1	12,1	12,1	12,7	12,3	12,5	12,3
H 242-197-2	11,7	10,8	11,3	12,5	12,3	12,4	11,8
E 175-09	12,2	11,3	11,8	12,6	11,9	12,3	12,0
E 1089-19	11,3	10,5	10,9	12,5	12,5	12,5	11,7
NIL2	11,2	10,8	11,0	12,4	11,9	12,2	11,6
NIL4	10,5	10,1	10,3	11,7	11,1	11,4	10,9
AIL327/18	10,5	10,2	10,4	11,7	11,2	11,5	10,9
AIL341/18	11,5	10,8	11,2	12,6	12,2	12,4	11,8
E2778/14	10,7	10,3	10,5	11,9	11,7	11,8	11,2
PIL355PH18	11,7	11,1	11,4	12,9	11,8	12,4	11,9
Фактор АС $\bar{X}$	11,8	11,1	11,5	12,8	12,3	12,5	12,0

Примітка: «<sup>1</sup>» – Фактор впливу А.; при рівні значущості  $p < 0,05$ .

У 2022 році вміст білка у ліній з геном *Gpc-B1* в середньому був на рівні 12,2 % у варіанті N60 та 13,5 % – у варіанті N120, що на 0,3 % й 0,4 % менше відповідно до варіантів в порівнянні з минулим роком. Така ж тенденція спостерігалась і для ліній з генами від *Ae. tauschii*: у варіанті N60 – 11,1 % та у варіанті N120 – 12,0 %, що на 0,7 й 0,8 % менше, ніж попереднього року. Отже, як і минулого року, загальний вміст білка в середньому був вище саме у ліній з геном *Gpc-B1*. При несприятливих погодних умовах ці лінії менше знижували білковість зерна. Незважаючи на доволі суттєву різницю в погодних умовах між роками, закономірності за вмістом білка в зерні інтрогресивних ліній зберігалися.

За результатами 2022 року, максимальний вміст білка у групах інтрогресивних ліній був на однаковому рівні. У лінії з геном *Gpc-B1* (9250) у варіанті N60 вміст білка був на рівні 12,6 %, а для лінії з генами від *Ae. tauschii* (PIL814/13) – 12,5 %. Різниця була не більше 0,40 % при  $HP_{0,05}$  за взаємодії D×C («Лінія»×«Доза добрив») – 0,48 %. Ці показники були на рівні з показниками високорослого екстенсивного сорту Одеська 16 та переважали на 1 % показники високорослого сорту напівінтенсивного типу Одеська 51. У варіанті N120 найбільш високий вміст білка серед інтрогресивних ліній з геном *Gpc-B1* був у лінії 9225 (14,1 %) та у лінії з генами від *Ae. tauschii* E1598/12 (13,9 %). Порівнюючи кращі за білковістю зерна лінії, можна зазначити, що різниця й у цьому варіанті внесення добрив була несуттєва, у межах  $HP_{0,05}$ . При дозі добрив N120, як і в інших випадках, найбільш високий вміст білка мали високорослі сорти Одеська 16 – 14,1 % і Одеська 51 – 12,7 %. Якщо вміст білка у сорту Одеська 16 був на рівні з найбільш високобілковими інтрогресивними лініями, то у сорту Одеська 51 – на 1,3 % менше. Якщо порівнювати ці результати з показниками високоінтенсивних сортів, то різниця зростала ще більше: у варіанті N60 від 0,8 % до 2,7 % у варіанті N120 від 1,4% до 2,7 %.

Важливим є порівняння сестринських ліній з геном і без гена *Gpc-B1* для встановлення можливого впливу цього гена на вміст білка зерна. У варіанті доз добрив N60 різниця за вмістом білка між лінією без гена й найбільш високобілковою лінією 9225 була суттєво менша, ніж минулого року – 0,6 %, у варіанті N120 різниця склала 1,6 %, що було вище за показники минулого року при  $HP_{0,05}$  за взаємодії D×C («Лінія»×«Доза добрив») – 0,48 %. З отриманих результатів за два роки можна зробити висновок, що лінії з геном *Gpc-B1* стабільно, незалежно від дози добрив і року досліджень, перевищували за вмістом білка сестринську лінію без гена. Приріст білка складав від 0,6 до 1,6 % в залежності від року та агрофону.

Визначення показника седиментації у інтрогресивних ліній та сортів-стандартів дозволило встановити, що найвищий рівень седиментації був у ліній з геном *Gpc-B* (табл. 2), в середньому різниця між групами інтрогресивних ліній складала 9,9 мл (12,8 %) на користь ліній з геном *Gpc-B1* при  $HP_{0,05}$  по фактору А (Генотип) – 2,3 мл. Хоча за середніми значеннями лінії з генами

від *Ae. tauschii* поступалися лініям з геном *Gpc-B1*, але окремі лінії цієї групи стабільно виділися за цим показником. Серед них лінії AIL379/18, PIL814/13, PIL690/18, NIL2, які в окремих випадках мали седиментацію на рівні ліній з геном *Gpc-B1*.

Аналізуючи сестринські лінії з геном і без гена *Gpc-B1* за рівнем седиментації, можна бачити значний його вплив на підвищення цього показника якості (табл. 2). Так, у варіанті N60 лінія без гена мала показник седиментації, в середньому по роках, 64,6 мл, що на 8,4 мл (13 %) менше, ніж у ліній з *Gpc-B1*. У варіанті N120 лінія без гена мала седиментацію на рівні 70,1 мл, різниця склала 12 мл, або 14,6 % на користь ліній з *Gpc-B1*, при  $HP_{0,05}$  за взаємодії факторів  $D \times C - 4,1$  мл.

Виявлено, що як у нашому експерименті, так і згідно з літературними даними [19], наявність пшенично-житніх транслокацій (1BL.1RS і 1AL.1RS) значно знижує показники седиментації. Враховуючи те, що в нашому досліді були сорти-стандарти з наявністю транслокацій (Щедристь, Дума, Новосмуглянка), показник їхньої седиментації поступався на 20 – 25 мл. сортам без транслокацій. В такому випадку, експериментальні лінії доцільно порівнювати зі стандартами без транслокацій. У досліджених інтрогресивних ліній середній показник седиментації у варіанті N60 складав 53,6 мл, різниця між інтрогресивними лініями і стандартами була в межах 19,4 й 10 мл відповідно до груп ліній (з геном *Gpc-B1* чи генами від *Ae. tauschii*). У варіанті N120 середній показник седиментації у сортів-стандартів був на рівні 63,2 мл, що було менше на 19 і 9 мл відповідно до груп ліній при  $HP_{0,05}$  за фактором А (Генотип) – 2,3 мл.

Визначення вмісту заліза проводилося в основному в зерні ліній з геном *Gpc-B1*. Це аргументується тим, що за літературними даними, саме цей ген здатен збільшити загальний вміст заліза та марганцю в зерні [20]. Середній вміст заліза в зернах ліній з геном *Gpc-B1* складав 43,6 мкг/г, що на 12,1 мкг/г більше, ніж у сорту Куяльник. Така ж різниця була встановлена між сестринською лінією без гена та лініями з геном *Gpc-B1*, що відповідало 34 %. В зерні лінії E1598/12 виявили значно менший вміст цього мікроелемента, ніж у ліній носіїв гена *Gpc-B1*, який знаходився на одному рівні з сортом Куяльник і лінією без гена *Gpc-B1* (табл. 4).

Середня концентрація марганцю у дослідних зразках складала 0,055 мкг/г, тоді як середній показник по групі ліній з геном *Gpc-B1* був 0,059 мкг/г. Різниця між вмістом марганцю у сорту Куяльник і середнім його значенням в інтрогресивних лініях з *Gpc-B1* складала 0,009 мкг/г на користь інтрогресивних ліній, що у відсотковому відношенні складало 18 %. Лінія з генами від *Ae. tauschii* мала найменшу концентрацію марганцю й поступалася за цим показником сорту Куяльник на 31 % та лініям з геном *Gpc-B1* на 55 %. Отже, ген *Gpc-B1* від *T. turgidum* ssp. *dicoccoides* підвищує не тільки вміст білка в зерні, але й концентрацію заліза та марганцю.

Таблиця 6

**Вміст мікроелементів у інтрогресивних лініях пшениці  
урожаю 2020-2022 року.**

Сорт, лінія	Вміст заліза, мкг /г	Вміст марганцю, мкг/г
Куяльник	31,5±0,2	0,050±0,002
9099 ( <i>GPC-B<sub>1</sub>-</i> )	31,5±0,1	0,049±0,002
9155 ( <i>GPC-B<sub>1</sub>+</i> )	43,5±0,2	0,063±0,001
9200 ( <i>GPC-B<sub>1</sub>+</i> )	42,5±0,1	0,050±0,002
9250 ( <i>GPC-B<sub>1</sub>+</i> )	41,5±0,2	0,057±0,001
9300 ( <i>GPC-B<sub>1</sub>+</i> )	44,0±0,3	0,060±0,001
99525( <i>GPC-B<sub>1</sub>+</i> )	46,5±0,2	0,065±0,002
E1598/12	31,0±0,3	0,038±0,003

### Висновки

За врожайністю інтрогресивні лінії з геном *Gpc-B1* від *T. dicoccoides* та з генами від *Ae. tauschii* поступалися на 14,5-18,1 % високоінтенсивним сортам Куяльник та Щедрість. Але переважали чи мали однакову врожайність з іншими сортами, такими, як Колонія, Годувальниця і Одеська 51. В оптимальні умови року наявність гена *Gpc-B1* не знижувала врожайність, але при дефіциті вологи спостерігався його негативний вплив. Серед інтрогресивних ліній було кілька (AIL96ф/18, E1089/19, NIL4, Eг. 9155 та Eг. 9200), які незалежно від умов і варіантів внесення добрив мали врожайність на рівні чи вище найурожайніших стандартів.

Найбільш високобілкові лінії з геном *Gpc-B1* і генами від *Ae. tauschii* мали однаковий вміст білка. Серед індикаторів білковості найвищий вміст білка був у сорту Одеська 16. В залежності від року і дози добрив вміст білка на рівні цього сорту мали до половини досліджених ліній з генами від *Ae. tauschii* (E1598/12, P1L814/13, AIL379/18 та F268/14).

Наявність гена *Gpc-B1* значно збільшувала рівень седиментації; лінії носії гена *Gpc-B1* перевищували сорти-стандарти, в середньому, на 19,0–19,4 мл, лінії з генами від *Ae. tauschii* – на 9,5–9,8 мл, а сестринську лінію без гена *Gpc-B1* на 8,4–12,0 мл. Кілька ліній з генами від *Ae. tauschii* (AIL379/18, P1L814/13, P1L690/18, NIL2, E1598/12 та E1089/19), незалежно від року і дози мінеральних добрив, мали вищий рівень седиментації, ніж сорти-стандарти.

Наявність гена *Gpc-B1* суттєво підвищувало вміст мікроелементів у досліджених генотипах. Середні значення вмісту марганцю у лініях з геном *Gpc-B1* були вищі на 18 %, ніж у сорту Куяльник, а вміст заліза – на 34 %.

*Робота виконана за підтримки і фінансування проєкту НФДУ. «Механізми стійкості економічно-важливих культур до вірусних хвороб за умов воєнного стану і глобального потепління» № 2023.03/0244 конкурсу «Передова наука в Україні».*

Стаття надійшла до редакції 19.08.2024

## Список використаної літератури

1. Balyan H.S., Gupta P.K., Kumar S., Dhariwal R., Jaiswal V., Tyagi S., Agarwal P., Gahlaut V., Kumari S. Genetic improvement of grain protein and other health-related constituents of wheat grain. *Plant Breeding*. 2013. P. 446-457 available at <http://wileyonlinelibrary.com>. doi: 10.1111/pbr.12047.
2. Zilic S., Barac M., Pesic M., Characterization of proteins from grain of different bread and durum wheat genotypes et. all *Int. J. Mol. Sci.* – 2011. – V.12 (9). – P. 5878–5894. doi: 10.3390/ijms12095878.
3. Wenefrida, I., Utomo, H.S., and Linscombe, S.D., Mutational breeding and genetic engineering in the development of high grain protein content, *J. Agric.Food Chem.*, 2013, Vol. 61, No. 48, pp. 11702–10, doi: 10.1021/jf4016812.
4. Michel S., Kummer C., Gallee M., Hellinger J., Ametz C., Akgöl B., Epure D., Güngör H., Löschenberger F., Buerstmayr H. Improving the baking quality of bread wheat by genomic selection in early generations. *Theor. Appl. Genet.*, 2018, Vol. 131, No. 2, P. 477–93, doi: 10.1007/s00122-017-2998-x.
5. Laidig F., Piepho H.P., Rentel D., Drobek T., Meyer, U., Huesken, A. Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983–2014. *Theor. Appl. Genet.*, 2017, Vol. 130, No. 1, P. 223–45, doi: 10.1007/s00122-016-2810-3.
6. Mishchenko L., Nazarov T., Dunich A., Mishchenko I., Ryshchakova O., Motsnyi I., Dashchenko A., Bez-krovna L., Fanin Y., Molodchenkova O., Smertenko A. Impact of wheat streak mosaic virus on peroxisome proliferation, redox reactions, and resistance responses in wheat. *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, 10218. P. 1–17. doi: [org/10.3390/ijms221910218](https://doi.org/10.3390/ijms221910218).
7. Motsnyi I.I., Molodchenkova O.O., Nargan T.P., Nakonechnyi M.Yu., Mishchenko I.A., Lyfenko S.Ph., Smertenko A.P., Mishchenko L.T. Impact of alien genes on disease resistance, drought tolerance, and agronomic traits in winter wheat commercial varieties. *The Open Agriculture Journal*. 2022. V. 16. P. 1–10. doi: [org/10.2174/18743315-v16-e2111260](https://doi.org/10.2174/18743315-v16-e2111260).
8. Padmanaban S., Zhang P., Hare R.A., Sutherland M.W., Martin A., Pentaploid wheat hybrids: applications, characterisation and challenges. *Front. Plant Sci.*, 2017, Vol. 8, P. 1–11, doi: [org/10.3389/fpls.2017.00358](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00358).
9. Tabbata F., Lewis S., Vouilloz J.P., Ortega M.A., Kade M., Abbate P.E., Barneix A.J. Effects of the Gpc-B1 locus on high grain protein content introgressed into Argentinean wheat germplasm. *Plant Breed.* 2013, Vol. 132, No. 1, P. 48–52, doi: [org/10.1111/pbr.12011](https://doi.org/10.1111/pbr.12011).
10. Mujeeb-Kazi A., GulKazi A., Dundas I., Rasheed F., Ogbonnaya F., Kishii M., Bonnett D., Wang R. R.-C., Xu S., Chen P., Mahmood T., Bux, H., Farrakh S., Chapter four-genetic diversity for wheat improvement as a conduit to food security. *Advances in Agronomy*. 2013. Vol. 122, P. 179–257. doi: [org/10.1016/B978-0-12-417187-9.00004-815](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417187-9.00004-815).
11. Verma S.K., Kumar S., Sheikh I. et al. Transfer of useful variability of high grain iron and zinc from *Aegilops kotschyi* into wheat through seed irradiation approach. *International Journal of Radiation Biology*. 2016. Vol. 92. P. 132–139.
12. Motsnyi I., Lytvynenko M., Golub E., Nargan T., Nakonechnyi M., Lyfenko S., Molodchenkova O., Fanin Ya., Mishchenko I., Smertenko A., Mishchenko L. Disease resistance and adaptation of winter wheat lines derived from wide hybridisation under arid environments. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2022. V. 109, № 3. P. 227–236. doi: [10.13080/z-a.2022.109.029](https://doi.org/10.13080/z-a.2022.109.029).
13. Jarell W.M., Beverly R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 1981. Vol. 34 P. 197–224.
14. ДСТУ 3768–2010. Пшениця. Технічні умови. – Держспожив-стандарт України. – 2010. – С. 14.
15. Рибалка О. І., Червоніс М. В., Парфентьев М. Г., Аксельруд Д. В. Пат. № 17023 Україна, (2006) A01H 1/04. Спосіб непрямої оцінки «сили» бо-рошна – седиментація SDS-30. Селекційно-генетичний інститут. № u200610062; заявл. 06.02.2006; опубл. 15.09.2006; Бюл. № 9. 6 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования) [5-е изд., доп. и перераб.]. Москва: Агропромиздат, 1985. 351 с.



17. Рибалка О. І., Моргун В. В., Моргун Б. В., Поліщук С. С., Червоніс М. В., Соколов В. М. Нова генетична варіабельність для поліпшення якості пшениці (*Triticum aestivum* L.). *Cytology and Genetics*. 2023. Т. 57 (1). С 1-11.
18. Рибалка О. І., Моргун Б. В., Поліщук С. С. *GPC-B1 (NAM-B1)* ген як новий генетичний ресурс у селекції пшениці на підвищення вмісту білка в зерні та мікроелементів. *Физиология растений и генетика*. 2018. Т. 50. (4), С 279-298.
19. Литвиненко М.А., Топал М.М. Ефекти пшенично-житніх транс-локацій 1AL/1RS I 1BL/1RS на якість зерна у сортів пшениці м'якої озимої. *ScienceRise*. 2015. № 3.1 (8). С. 82-87.
20. Жемела Г.П., Кузнецова О.А. Вплив сортових властивостей на продуктивність та якість зерна пшениці м'якої озимої. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2012. № 3. С. 23-25.

**Я. С. Фанін<sup>1</sup>, М. А. Литвиненко<sup>1</sup>, О. О. Молодченкова<sup>1</sup>, І. А. Міщенко<sup>2</sup>,  
І. І. Моцний<sup>1</sup>, А. А. Дуніч<sup>3</sup>, Л. Т. Міщенко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення, Овідіопольська дор., 3, м. Одеса, 65036, Україна

<sup>2</sup>Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна

<sup>3</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601, Україна

## **ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ГЕНЕТИЧНИХ ДЖЕРЕЛ ВИСОКОЇ БІЛКОВОСТІ ЗЕРНА ВІД *AEGILOPS TAUSCHII* ТА *TRITICUM DICOCCOIDES***

### **Резюме**

**Вступ.** Однією з найважливіших вимог до сучасного виробника є отримання високих валових зборів зерна пшениці *Triticum aestivum* L. з високими якісними показниками, в реалізації яких провідну роль відіграє білок. Хоча у світі давно відомі зразки пшениці м'якої озимої з високим вмістом білка (2-3%), вони не завжди проявляють свої переваги при висіві в інших екологічних або агротехнічних умовах. Перспективним шляхом розв'язання цієї проблеми є схрещування віддалених видів з високоврожайними сортами, що може значно підвищити вміст білка в отриманих лініях. Один із цих напрямків для підвищення біохімічних показників є інтрогресія гена *Gpc-B1* від *T. dicoccoides*.

**Мета.** Перше, оцінка за продуктивністю та показниками якості інтро-гресивних ліній з джерелами високої білковості з геном *Gpc-B1* і генів від *Aegilops tauschii*, друге порівняння кращих інтрогресивних ліній, носіїв різних генетичних систем, з сортами стандартами.

**Методика.** Польові дослідження проводилися на дослідних полях СГП-НЦНС, на двох контрастних варіантах внесення азотних добрив N60 і N120. В дослідженні брали участь 2 групи ліній з геном *Gpc-B1* та генами від *Ae. tauschii*. Найкращі представники цих груп порівнювалися з сортами-стандартами. Лінії досліджувалися за показником врожайності, вмісту білка, рівня седиментації та мікроелементного складу.

**Основні результати.** Були проведені дослідження 18 ліній з генами високої білковості від *A. tauschii* та 5 ліній з геном *Gpc-B1* від *T. dicoccoides*. За врожайністю були виявлені такі закономірності: інтрогресивні лінії з геном *Gpc-B1* та з генами від *Ae. tauschii* поступалися на 14,5-18,1% таким



високоінтенсивним сортам, як Куяльник та Щедрість, але інтрогресивні лінії переважали чи мали однакову врожайність з усіма іншими сортами, такими, як Колонія, Годувальниця і високорослий напівінтенсивного типу сорт Одеська 51. Встановлено, що в оптимальні умови року наявність гена *Gpc-B1* не знижувало врожайності, але при дефіциті вологи таке може спостерігатися. Високобілкові лінії з геном *Gpc-B1* і генами від *Ae. tauschii* мали однаковий середньо арифметичний вміст білка. Найбільший вміст білка в зерні серед сортів-стандартів був у сорту Одеська 16, залежно від року і дози добрив вміст білка на рівні цього сорту мали від однієї до дев'яти інтрогресивних ліній з генами від *Ae. tauschii*. Вміст білка у ліній з геном *Gpc-B1* був дещо вищий, за винятком варіанту N120 у 2022 році, коли всі дослідні лінії показали вміст білка на рівні сорту-стандарту Одеська 16.

Лінії носії гена *Gpc-B1* перевищували в середньому сорти-стандарту за цим показником на 19 – 19,4 мл, на 9,5 – 9,8 мл лінії з генами від *Ae. tauschii* та сестринську лінію без гена *Gpc-B1* на 8,4 – 12,0 мл. Наявність гена *Gpc-B1* від *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* суттєво підвищувало вміст мікроелементів у досліджених генотіпах. Середні значення вмісту марганцю у лініях з геном *Gpc-B1* були вищі на 18%, ніж у сорту Куяльник, вміст заліза – на 34%.

**Ключові слова:** *Triticum aestivum* L., врожайність, мікроелементи, біохімічні показники, якість зерна, віддалена гібридизація.

Ya. S. Fanin<sup>1</sup>, M. A. Lytvynenko<sup>1</sup>, O. O. Molodchenkova<sup>1</sup>, I. A. Mishchenko<sup>2</sup>, I. I. Motsnyi<sup>1</sup>, A. A. Dunich<sup>2</sup>, L. T. Mishchenko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Plant Breeding and Genetics Institute – National Center of Seed and Cultivar Investigation, 3 Ovidiopolska Rd, Odesa, 65036, Ukraine

<sup>2</sup> National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St, Kyiv, 03041, Ukraine

<sup>3</sup> Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13 Volodymyrska St, Kyiv, 01601, Ukraine

## STUDY OF NEW GENETIC SOURCES OF HIGH GRAIN PROTEIN CONTENT FROM AEGILOPS TAUSCHII AND TRITICUM DICOCOIDEOS

### Summary

**Introduction.** One of the most important requirements for a modern producer is to obtain high gross yields of wheat grain with high quality indicators, in the realisation of which protein plays a leading role. Although the world has long known samples of soft winter wheat with a high protein content (2-3%), they do not always show their advantages when sown under different environmental or agronomic conditions. A promising way to solve this problem is to cross distant species with high-yielding varieties, which can significantly increase the protein content of the resulting lines. One of these ways to improve biochemical parameters is introgression of the *Gpc-B1* gene from *T. dicoccoides*.

**Objective.** Firstly, to evaluate the productivity and quality indicators of introgressive lines with high protein sources with the *Gpc-B1* gene and genes from *Aegilops tauschii*, and secondly, to compare the best introgression lines with varieties of standards of carriers of different genetic systems.

**Methods.** Field studies were conducted on the experimental fields of the SGI-NCSCI, on two contrasting variants of nitrogen fertilizer application N60 and N120. The

study involved 2 groups of lines with genes from *T. dicoccoides* and *Ae. tauschii*. The best representatives of these groups were compared with the standard varieties. The lines were studied for yield, protein content, protein fractional composition, sedimentation level and trace element composition.

**Main results.** 18 lines with high protein genes from *Ae. tauschii* and 5 lines with the *Gpc-B1* gene from *T. dicoccoides* were studied. The following patterns were found in terms of yield: introgression lines with the *Gpc-B1* gene and genes from *Ae. tauschii* were 14.5-18.1% inferior to such high-intensity varieties as Kuyalnyk and Shchedrish, but introgression lines were superior or had the same yield as all other varieties, such as Kolonia, Giduvanitsa and tall semi-intensive type variety Odeska 51. It was found that in optimal conditions of the year, the presence of the *Gpc-B1* gene did not reduce yields, but in case of moisture deficit, this can be observed. High-protein lines with the *Gpc-B1* gene and genes from *Ae. tauschii* had the same arithmetic mean protein content. The highest protein content in grain among the standard varieties was in Odeska 16, and depending on the year and fertilizer dose, from one to nine introgression lines with genes from *Ae. tauschii* had protein content at the level of this variety. The protein content of the lines with the *Gpc-B1* gene was slightly higher, except for the variant N120 in 2022, when all experimental lines showed protein content at the level of the standard variety Odeska 16.

Lines carrying the *Gpc-B1* gene exceeded the standard varieties by 19 - 19.4 ml on average, lines with genes from *Ae. tauschii* by 9.5 - 9.8 ml and the sister line without the *Gpc-B1* gene by 8.4 - 12.0 ml. The presence of the *Gpc-B1* gene from *Triticum turgidum* ssp. *dicoccoides* significantly increased the content of trace elements in the studied genotypes. The average manganese content in the lines with the *Gpc-B1* gene was 18% higher than in the Kuyalnik variety, and the iron content was 34% higher.

**Keywords:** *Triticum aestivum* L., yield, trace elements, biochemical parameters, grain quality, remote hybridisation.

## References

- Balyan, H. S., Gupta, P. K., Kumar, S., Dhariwal, R., Jaiswal, V., Tyagi, S., Agarwal, P., Gahlaut, V., & Kumari, S. (2013). Genetic improvement of grain protein and other health-related constituents of wheat grain. *Plant Breeding*. 446-457. <http://wileyonlinelibrary.com>. doi: 10.1111/pbr.12047.
- Žilić, S., Barać, M., Pešić, M., Dodig, D., & Ignjatović-Mičić, D. (2011). Characterization of Proteins from Grain of Different Bread and Durum Wheat Genotypes. *International Journal of Molecular Sciences*. 12(9), 5878-5894. <https://doi.org/10.3390/ijms12095878>.
- Wenefrida, I., Utomo, H.S., & Linscombe S.D. (2013). Mutational breeding and genetic engineering in the development of high grain protein content. *J. Agric. Food Chem.* 61, 48, 11702-10. doi: 10.1021/jf4016812.
- Michel, S., Kummer, C., Gallee, M., Hellinger, J., Ametz, C., Akgöl, B., Epure, D., Güngör, H., Löschenberger, F., & Buerstmayr, H. (2018). Improving the baking quality of bread wheat by genomic selection in early generations. *Theor. Appl. Genet.* 131, 2, 477-93. doi: 10.1007/s00122-017-2998-x.
- Laidig, F., Piepho, H.P., Rentel, D., Drobek, T., Meyer, U., & Huesken, A. (2017). Breeding progress, environmental variation and correlation of winter wheat yield and quality traits in German official variety trials and on-farm during 1983-2014. *Theor. Appl. Genet.* 130, 1, 223-45. doi: 10.1007/s00122-016-2810-3.
- Mishchenko, L., Nazarov, T., Dunich, A., Mishchenko, I., Ryschakova, O., Motsnyi, I., Dashchenko, A., Bez-krovna, L., Fanin, Y., Molodchenkova, O., & Smertenko, A. (2021). Impact of wheat streak mosaic virus on peroxisome proliferation, redox reactions, and resistance responses in wheat. *Int. J. Mol. Sci.* 22, 10218. 1-17. doi: org/10.3390/ijms221910218.
- Motsnyi, I. I., Molodchenkova, O. O., Nargan, T. P., Nakonechnyi, M. Yu., Mishchenko, I. A., Lyfenko, S. Ph., Smertenko, A. P., & Mishchenko, L. T. (2022). Impact of alien genes on disease resistance, drought tolerance,

- and agronomic traits in winter wheat commercial varieties. *The Open Agriculture Journal*. 16. 1–10. doi: org/10.2174/18743315-v16-e2111260.
8. Padmanaban, S., Zhang, P., Hare, R. A., Sutherland, M. W., & Martin, A. (2017). Pentaploid wheat hybrids: applications, characterisation and challenges. *Front. Plant Sci.* 8, 1–11. doi: org/10.3389/fpls.2017.00358.
  9. Tabbita, F., Lewis, S., Vouilloz, J.P., Ortega, M.A., Kade, M., Abbate, P.E., & Barneix, A.J. (2013). Effects of the *Gpc-B1* locus on high grain protein content introgressed into Argentinean wheat germplasm. *Plant Breed.* 132, 1, 48–52, doi: org/10.1111/pbr.12011.
  10. Mujeeb-Kazi, A., GulKazi, A., Dundas, I., Rasheed, F., Ogbonnaya, F., Kishii, M., Bonnett, D., Wang, R. R.-C., Xu, S., Chen, P., Mahmood, T., Bux, H., & Farrakh, S. (2013). Chapter four-genetic diversity for wheat improvement as a conduit to food security. *Advances in Agronomy*. 122, 179–257. doi: org/10.1016/B978-0-12-417187-9.00004-815.
  11. Verma, S. K., Kumar, S. Sheikh I. et al. (2016). Transfer of useful variability of high grain iron and zinc from *Aegilops kotschyi* into wheat through seed irradiation approach. *International Journal of Radiation Biology*. 92. 132–139.
  12. Motsnyi, I., Lytvynenko, M., Golub, E., Nargan, T., Nakonechnyi, M., Lyfenko, S., Molodchenkova, O., Fanin, Ya., Mishchenko, I., Smertenko, A., & Mishchenko, L. (2022). Disease resistance and adaptation of winter wheat lines derived from wide hybridisation under arid environments. *Zemdirbyste-Agriculture*. 109, № 3. P. 227–236. doi: 10.13080/z-a.2022.109.029.
  13. Jarell, W.M., & Beverly R.B. (1981). The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 34: 197–224.
  14. DSTU 3768-2010. Wheat. Technical specifications. - State Consumer Standard of Ukraine.[ Pshenytsia. Tekhnichni umovy. Derzhspozhyv-standart Ukrainy]. 2010. C. 14.
  15. Rybalka, O. I., Chervonis, M. V., Parfentiev, M. G., & Axelrud, D. V. Pat. No 17023 Ukraine, (2006) A01N 1/04. Method for indirect evaluation of bo-roshna 'strength' - SDS-30 sedimentation. [Sposib nepriamoi otsinky «syly» bo-roshna – sedimentatsiia SDS-30]. Selection and Genetic Institute. No. u200610062; application for application for 06.02.2006; published 15.09.2006; Bulletin No. 9. 6 p. [in Ukrainian].
  16. Dospikhov, B. A. (1985). «Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results» [«Metody polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)», Moscow, Agropromizdat, 351 p. [in Ukrainian].
  17. Rybalka, O. I., Morgun, V. V., Morgun, B. V., Polishchuk, S. S., Chervonis, M. V., & Sokolov V. M. (2023). New genetic variation for improving the quality of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cytology and Genetics*. [Nova henetychna variabelnist dlia polipshennia yakosti pshenytsi (*Triticum aestivum* L.)]. 57 (1). 1-11. [in Ukrainian].
  18. Rybalka, O. I., Morgun, B. V., & Polishchuk, S. S. (2018). *GPC-B1 (NAM-B1)* gene as a new genetic resource in wheat breeding for increasing the content of protein in grain and microelements. [*GPC-B1 (NAM-B1)* hen yak novyi henetychnyi resurs u selektsii pshenytsi na pidvyshchennia vmistu bilka v zerni ta mikroelementiv]. *Plant Physiology and Genetics*. 50. (4), 279-298. [in Ukrainian].
  19. Litvinenko, M. A., Topal., M. M. (2015). Effects of wheat-rye trans-locations 1AL/1RS and 1BL/1RS on grain quality in winter durum wheat varieties.. [Efekty pshenychno-zhytnikh trans-lokatsii 1AL/1RS I 1VL/1RS na yakist zerna u sortiv pshenytsi miakoi ozymoi]. *ScienceRise* № 3.1 (8). C. 82-87.
  20. Zhemela, G. P., & Kuznetsova, O. A. (2012). Influence of varietal properties on productivity and grain quality of soft winter wheat. [Vplyv sortovykh vlastyvoستي na produktyvnist ta yakist zerna pshenytsi miakoi ozymoi]. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*. 3. 23-25.