

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ М'ЯКОЇ ВІД ПАРНИХ СХРЕЩУВАНЬ МІСЦЕВИХ СОРТІВ З ЛІНІЯМИ ДОНОРАМИ ГЕНА GPC-B1

**ЛИТВИНЕНКО М.А.** – доктор. сільськогосподарських наук, професор,

академік Національної академії аграрних наук України

*orcid.org/0000-0002-8605-6587*

Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортування Національної академії аграрних наук України

**ФАНІН Я.С.** – аспірант

*orcid.org/0000-0003-3129-7583*

Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортування Національної академії аграрних наук України

**Постановка проблеми.** Товарна цінність зерна озимої м'якої пшениці пов'язана з масовою часткою білка та хлібопекарськими властивостями. Однією із проблем сьогодення України є питання покращення якості зерна пшениці. Україна посідає високе місце на світовому ринку зернових: частка в експорті пшениці в середньому складає 5%; одночасно частка України в експорті пшениці до ЄС складає 32% [3]. На жаль, українська пшениця у загальній масі поступається за якістю зерна кращим світовим досягненнями та, як наслідок, повною мірою не задовольняє внутрішній і зовнішній ринок рівнем якості пшеничного борошна. Більша частина пшениці, що вирощується в Україні, переважно через недоліки технології вирощування культури, належить до фуражного класу, тобто 5-го, 6-го класу і тільки 40–50% – до продовольчої пшениці [4]. Певною мірою це пов'язано, використанням сортів нового покоління, з високим генетичним потенціалом врожайності. В літературі багатьма вченими неодноразово підтверджувалась негативна кореляційна залежність між продуктивністю і якістю озимої м'якої пшениці. Тому сьогодні важливо спрямовувати наукові дослідження на створення сортів, здатних подолати зворотну залежність «урожай-білок» незалежно від погодно-кліматичних умов та шляхів удосконалення агротехнічних прийомів вирощування цієї культури [5]. Особливо в селекції є важливим поєднання підвищеного вмісту білка в зерні з високими хлібопекарськими показниками муки.

**Аналіз літературних даних.** Науково обґрунтована селекція триває вже довгий час, понад 100 років, і за цей час відбулися принципові зміни у селекційному процесі. Перші суттєві зміни, які вплинули на білковість зерна пшениці, – це зменшення висоти рослин, за рахунок введення генів короткостебловості. Як наслідок, були створені спочатку сорти напівінтенсивного, а потім й короткостеблові інтенсивного типу, що негативно вплинуло на загальну білковість зерна [6]. Як наслідок, в селекції постала проблема збільшення загального рівня білковості зерна при підвищенні врожайності.

Найбільш інтенсивні дослідження якості зерна припадають на 60–80 роки ХХ ст. які направлені переважно на пошук високобілкових генотипів у диких видах *Triticum L.* і *Aegilops L.* [2]. Найбільш результативно велась робота в цей час в США і Канаді, де вдалось збільшити кількість білка в зерні на 0,5–3,0% [7]. Було

доведено, що рівень білка в зерні має полігенний характер [8]. На сьогодні у всіх хромосомах пшениці знайдені головні та мінорні локуси, які впливають на цей показник [9].

Важливим етапом в селекції на підвищення якості зерна пшениці може бути ідентифікований ген, який знайшли у колекції дикорослої пшениці національних фондів зародкової плазми Ізраїлю, у зразках дикорослої двозернянки *T. turgidum ssp. dicoccoides Thell* [10]. Серед цього матеріалу знайдено один високобілковий зразок під назвою FA-15-3, який був схрещений із сортом твердої пшениці Langdon з метою отримання чужорідних хромосомно-заміщених ліній та ідентифікації хромосом, критичних щодо контролю ознаки високого вмісту білка в зерні [11]. В одній лінії із заміщенням пари хромосом 6В культурного сорту Langdon на хромосомну пару 6В від *T. dicoccoides* правдиво зростав вміст білка в зерні на 38% відносно контролю порівняно з іншими хромосомно-заміщеними лініями. Крім білка в зерні цієї лінії водночас підвищувався вміст заліза на 18%, мангану на 29% і цинку на 12% [12]. Отже, було ідентифіковано й локалізовано на короткому плечі хромосоми 6В QTL-фактор, відповідальний за високий вміст білка в зерні дикорослої *T. dicoccoides*. Цей QTL-фактор був картований як менделюючий регіон розміром 2,7 сМ і отримав назву Gpc-B1 (GPC — grain protein concentration) [13].

У Канаді за допомогою створення дигаплоїдів і використання маркер-контрольованого добору отримано три комерційні сорти ярої м'якої пшениці. Два із них, Lillian та Somerset, належати до товарного класу екстра сильних ярих червонозерних сортів, а Burnside – до надсильних сортів. Створені сорти або трохи перевершували, або не відрізнялися за врожайністю від сортів, у яких не був маркер гена Gpc-B1, але всі вони мали вищий відсоток білка в зерні (від 13,4 до 16,1%) і дозрівали на два-три дні раніше [14].

У наукових установах США для введення функціональних алелів Gpc-B1 використовували сорти та лінії м'якої ярої пшениці Anza, Yecora Rojo, Attila, UC1037, UC1041, а також твердої пшениці Kofa, Kronos, UC1113, причому у Yecora Rojo та UC1113, як і у Lillian, введений функціональний алель Gpc-B1 був тісно зчеплений з геном стійкості до жовтої іржі Yr36. Створені майже ізогенні та сестринські їм лінії BC6F3 були протестовані у трьох пунктах впродовж трьох років. Усі лінії з функці-

ональними алелями GPC-B1 мали більше білка в зерні та менше азоту в стеблах, при цьому у них була нижча маса 1000 зерен, але за врожайністю вони не відрізнялися від звичайних сортів [15].

Враховуючи вдалий досвід використання гена GPC-B1 для поліпшення біохімічних показників в наукових установах світу, нами в Селекційно-генетичному інституті – Національному центрі насіннізнавства та сортування (СГІ-НЦНС), була розпочата робота з цим геном. Робота полягає в розробці методичних питань стосовно селекційної програми введення гена підвищеного білка в зерні GPC-B1 від *T. turgidum* ssp. *dicoccoides* Thell в місцевий сортовий генофонд. Для поєднання гена високої білковості й сортів які носіями алелів високих хлібопекарських показників, мають достатній рівень врожайності та комплексом інших господарсько-біологічних ознак і властивостей.

**Мета досліджень.** Установити ефективність добору за вмістом білка в зерні у рекомбінантних лініях, створених від парних схрещувань з донорськими лініями – носіями гена GPC-B1.

**Матеріали та методи досліджень.** Польові досліді проводилися по чорному пару на експериментальних полях відділу селекції та насінництва пшениці СГІ-НЦНС у період 2019-2022 роках, з щорічним розміщенням по попереднику чорний пар із внесенням азотних мінеральних добрив. За кількістю внесення добрив ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) на 1 га дослідження проводилися на двох варіантах – 60 (N60) і 120 (N120) кг/га діючої речовини, і виконані за методикою польового досліді [18]. Агротехніка вирощування пшениці м'якої озимої – загальноприйнята для степової зони України.

Вихідним матеріалом для досліджень слугував попередньо створений у відділі селекції й насінництва пшениці СГІ НЦНС гібридний матеріал F2 від схрещування сортів пшениці м'якої озимої з екстрасильними хлібопекарськими показниками – Нива Одеська, Оранта Одеська, Оптіма Одеська, Кантата Одеська, Мелодія, Наснага, Ветеран, Мудрість з рекомбінантними лініями F6- F7 – носіями гена GPC-B1, створених експериментально у відділі генетичних основ селекції СГІ НЦНС (Рибалко О. І.).

Закладання досліді проводилося за схемою традиційного селекційного процесу [18]. Насіння рослин виділені при індивідуальному доборі із гібридних популяцій F 2 за морфологічними характеристиками. Ці лінії слугували відхідним матеріалом для закладки ліній F 3, які були початковим об'єктом даних досліджень в селекційному розсаднику. При ширині міжряддя 45 см, довжина рядка 2,5 м без повторень. Через кожні 20 ліній були розміщені сорт – стандарт Куяльник та батьківські компоненти. Наступний етап досліджень – попереднє сорто- випробування (ширина міжряддя 30 см, довжина ділянки 6,8 м). Далі – конкурсне випробування (ширина міжряддя 15 см, довжина ділянки 6,8 м). Попереднє сортовипробування і сортовипробування проводилися в 3-х кратній повторності.

Загальний вміст білка визначали за допомогою сучасного і загальноприйнятого методу інфрачервоної спектроскопії (NIR). Аналізи були проведені

з використанням інфрачервоної спектроскопії на приладі "Inframatic 8600" (Perten, Sweden) [16]. В якості референтного методу використовували визначення загального вмісту білка методом К'ельдала. Рівень седиментації як опосередкований метод визначення хлібопекарських властивостей, проводився методом SDS30 із попереднім автолізом [17].

За даними метеорологічної служби Одеського аеропорту, яка географічно розташована поряд з дослідними полями, за період вегетації у 2019/20 р. випало 290 мм опадів, більшість яких в осінній і зимовий період, тоді як в березні й квітні був значний дефіцит вологи. В цілому рік можна схарактеризувати як несприятливий за погодними умовами. У наступний вегетаційний рік 2020/21 випало 500 мм, що на 70% більше, ніж в перший рік досліджень. Цей рік можна вважати оптимальним для вегетації за абіотичними факторами. У 2021/22 вегетаційний рік випало 300 мм, але на відміну від 2020 року, в березні-квітні рівень опадів був дещо вищим. Погодні умови цього року слід вважати посушливими, хоча у період відновлення вегетації запас вологи був цілком задовольнити.

Результати досліджень. Перший етап досліджень експериментальних ліній, створених на базі парних схрещувань місцевих сортів і ліній донорів гена GPC-B1 проводився з селекційного розсадника до якого входять рекомбінантні лінії F3. Скринінг та добір рекомбінантних ліній ведеться як за морфологічними ознаками та і за вмістом білка. Під урожай 2020 року був закладений селекційний розсадник з рекомбінантних ліній в кількості 3200 рекомбінантних ліній із 8 гібридних комбінацій (таблиця 1). З 3200 ліній було за однорідністю морфологічних ознак відібрано 524 лінії (16,3% від загальної кількості). Далі після скринінгу ліній за білковістю зерна, за допомогою інфрачервоного аналізатора, відібрано 296 (56,4%) лінії які за результатами аналізів білковості зерна перевищують сорт-стандарт Куяльник, 140 (26,7%) з яких мали суттєву перевагу над батьківськими компонентами носіями гена GPC-B1. У залежності від гібридних комбінацій, середній відсоток які перевищують білковість батьківських компонентів ліній складає 26,7%. Така велика частка лінії можливо зумовлює на додатковим впливом впливом зовнішніх умов.

На наступних етапах селекційного процесу, в попередньому сортовипробуванню (ПСВ 2021 р.) і конкурсному сортовипробуванню (КСВ 2022 р.) головною (цільовою) ознакою добору була білковість зерна. Далі відселені лінії характеризувалися за показниками врожайності й седиментації типу SDS – 30. Порівняння здійснювалось як і селекційному розсаднику за вмістом білка в зерні відносно до сорту-стандарту, а також кращим за вмістом білка батьківським компонентом. Останній показник при полігенній системі впливу прийнято називати трансгресією. Однак виходячи з останніх досліджень ген GPC-B1 має моногенний характер. Тому при взаємодії з іншими генетичними системами можна говорити про кумулятивний ефект в порівнянні з батьківськими компонентами.

Проте відселені лінії з підвищеним відсотком білка в зерні при великій кількості факторів впливу, слід порів-

нювати та підтверджувати в кожній наступній генерації для виявлення лінії стабільних за білковістю зерна. У зв'язку з цим представляє інтерес мінливості ознаки білковості зерна продовж трьох генерацій відповідно до етапів селекційного процесу.

За даними (табл. 2) прослідковується зменшення, на третій рік досліджень, кількості високобілкових ліній від початкових показників в селекційному розсаднику. Таким чином використання ліній-донорів гена GPC-B1 в гібридизації з сортами екстра сильними за якістю зерна пшениці забезпечує стабільне проявлення білковості в лініях в кількості від 3,1–5,9% від початкової кількості ліній, залежно від гібридної комбінації. Для прискорення ідентифікації таких ліній,

можливо використання різних екологічних груп, або різних агрофонів.

Такий підхід був використаний при доборі лінії в конкурсному сортовипробуванні. Дослід конкурсного сортовипробування був розміщений на двох варіантах агрофонах N 60 і N 120. Метою було більш детально дослідити реакцію рекомбінантних ліній на дози мінеральних добрив (табл. 3). З отриманих даних видно, що середній рівень білковості зерна у відділених ліній з підвищеним вмістом білка перевищують аналогічний показник у лінії з білковістю на рівні сорту-стандарту на високому азотному фоні (N120) на +1,6%, а на низькому на (N 60) +0,7%. Звісти виходить, що проявлення генотипів з високою білковістю (експресія гена GPC-B1)

Таблиця 1

**Результати добору рекомбінантних ліній F3 від схрещувань ліній с геном GPC-B1 з сортами носіями алелів високих хлібопекарських властивостей**

Гібридна комбінація	Всього, шт	Кількість відібраних ліній					
		За морфологічними ознаками		За перевищенням білковості			
				Сорту-стандарту,		Кращих батьківських компонентів	
		Шт.	%.	Шт.	%.	Шт.	%.
Er 12/17 X Нива од.	400	110	27,5	58	52,7	34	30,9
Er 12/18 X Оптима од.	400	62	15,5	39	62,9	17	27,4
Er 12/19 X Оранта од.	400	63	15,7	35	55,5	17	26,3
Er 12/21 X Кантата од.	400	75	18,7	37	49,3	16	21,3
Er 12/53 X Нива од.	400	52	12,9	33	63,4	10	19,2
Er 12/64 X Оранта од.	400	84	21	44	52,3	24	28,5
Er 12/66 X Кантата од.	400	43	10,7	27	62,7	12	27,9
Er 13/11 X Оптима од.	400	35	8,7	23	65,7	10	28,5
Сума	3200	524	15,7	296	56,4	140	26,7

Таблиця 2

**Мінливість ознаки вмісту білку в зерні у ліній м'якої озимої пшениці від схрещування місцевих сортів з донорами гена GPC-B1 на різних етапах селекційного процесу**

Походження ліній (Гібридна комбінація)	CP F3			ПСВ F 4			СВ F 5		
	Вивчено ліній, шт	Кіл-ст високо білкових, шт.	Відсоток Трансгресії, %	Високо білкові, шт.	Частота високо білкових, %	Підтвержено високо білкових, %	Високо білкові, шт.	Частота високо білкових, %	Підтвержено високо білкових, %
Er 12/17 X Нива од.	110	34	30,9	7	6,3	12,0	6	5,4	85,7
Er 12/18 X Оптима од.	62	17	27,4	5	8,0	12,8	3	4,8	60
Er 12/19 X Оранта од.	63	17	26,3	4	6,3	11,4	2	3,1	50
Er 12/21 X Кантата од.	75	16	21,3	8	10,6	21,6	5	6,6	62,5
Er 12/53 X Нива од.	52	10	19,2	3	5,7	9	2	3,8	66,6
Er 12/64 X Оранта од.	84	24	28,5	8	9,5	5,5	5	5,9	62,5
Er 12/66 X Кантата од.	43	12	27,9	3	6,9	11,1	2	4,6	66,6
Er 13/11 X Оптима од.	35	10	28,5	3	8,5	13,8	2	5,7	66,6

Таблиця 3

Характеристика рекомбінантних ліній F 5 від парних схрещувань ліній-донорів гена GPC-B1 з сортами з високими хлібопекарськими показниками (КСВ 2021/22 р.)

Походження ліній (Гбридна комбінація)	Варіант добрих, N	Врожайність ліній, т/га, сер. зн.			Вміст білка, %, сер. зн.			Седиментація, мм, сер. зн.		
		На рівні сор-та-стандарту	Високо-білкових	Різниця	На рівні сор-та-стандарту	Високо-білкових	Різниця	На рівні сор-та-стандарту	Високо-білкових	Різниця
Eг 12/17 X Нива од.	120	7,04±0,34	6,92±0,22	-0,12	11,1±0,36	12,0±0,34	+0,9	51,5±1,4	65±2,1	+13,5
	60	6,43±0,36	6,41±0,12	-0,02	9,7±0,45	10,1±0,37	+0,4	44±2,2	52,5±2,6	+8,5
Eг 12/18 X Оптим од.	120	7,12±0,21	5,95±0,21	-1,17	11,2±0,37	12,6±0,47	+1,4	49±2,3	63±2,4	+14
	60	6,35±0,25	6,24±0,06	-0,11	9,8±0,43	10,4±0,28	+0,6	43±3,2	50±3,4	+7
Eг 12/19 X Оранта од.	120	7,02±0,45	6,78±0,32	-0,24	10,1±0,34	11,5±0,31	+1,4	49±3,1	67±2,6	+18
	60	5,54±0,23	5,28±0,54	-0,26	9,6±0,48	10,3±0,25	+0,7	41±2,7	51±2,5	+10
Eг 12/21 X Кантата од.	120	6,74±0,04	6,80±0,32	+0,06	10,2±0,43	11,3±0,5	+1,1	53±2,4	64±2,1	+9
	60	6,12±0,12	5,32±0,32	-0,80	9,5±0,65	9,9±0,33	+0,4	42±3,7	50±2,0	+8
Eг 12/53 X Нива од.	120	7,15±0,07	6,69±0,56	-0,46	10,9±0,55	12,0±0,32	+0,11	50±3,2	70±1,5	+20
	60	5,45±0,09	5,12±0,43	-0,33	9,5±0,45	10,4±0,34	+0,9	42±2,7	54±1,9	+12
Eг 12/64 X Оранта од.	120	6,87±0,14	6,06±0,34	-0,81	10,2±0,33	11,1±0,23	+0,9	51±2,9	59±2,0	+8
	60	5,12±0,32	5,23±0,56	+0,11	9,1±0,43	9,8±0,21	+0,7	38±2,4	44±3,2	+6
Eг 12/66 X Кантата од.	120	7,30±0,25	7,15±0,65	-0,15	10,8±0,23	12,4±0,25	+1,6	48±2,6	63±2,7	+15
	60	6,67±0,32	6,29±0,23	-0,38	9,6±0,36	10,9±0,33	+1,3	39±1,6	51±2,5	+12
Eг 13/11 X Оптим од.	120	7,33±0,28	6,67±0,32	-0,63	11,4±0,26	12,3±0,43	+0,9	52±1,8	63±2,7	+11
	60	5,57±0,24	5,12±0,21	-0,43	10,3±0,43	10,8±0,38	+0,5	38±2,2	45±3,2	+7
В середньому	120	сер. зн. 7,07 ±0,17	сер. зн. 6,89±0,23	-0,18	сер. зн. 10,3±0,17	сер. зн. 11,9±0,19	+1,6	сер. зн. 50,3±0,21	сер. зн. 64,2±0,32	+13,9
	60	сер. зн. 5,4±0,11	сер. зн. 5,25±0,22	-0,15	сер. зн. 9,6±0,12	сер. зн. 10,3±0,32	+0,7	сер. зн. 41,8±0,12	сер. зн. 48,6±0,3	+6,8

більше проявляється на високому агрофоні азотного живлення. Крім того, окремі лінії з чистотою 0,8–1,8% (в залежності від походження) переважають за вмістом білка сорт-стандарт на 2,3–2,7%.

Такі лінії планується передати на ідентифікацію гена GPC-B1 в відділ загальної й молекулярної генетики СГ-НЦНС. Такий хід добору та ідентифікації гена GPC-B1 не є розповсюдженим. Він базується на передусім на доборі рекомбінантних ліній за фенотиповими ознаками. При достатньому науковому забезпеченні молекулярно-генетичний контроль та ідентифікація гена здійснюється перед залученням рекомбінантних ліній в селекційний процес.

Дані таблиці 3 свідчать тому, що середній рівень врожайності високобілкових ліній, виявлених майже у всіх гібридних комбінацій нижче урожайності ліній з білковістю на рівні з сорту-стандарту. Величезних відмінностей змінюється залежності від походження і збільшується при збільшених азотного фону на користь стандартних ліній. Це можна пояснити проявленням біологічної закономірності від'ємного кореляційного зв'язку урожайності й вмісту білка в зерні, що в наших досліджах виражається коефіцієнтом кореляції на рівні -0,12 – -0,32. Такий рівень залежності не є систематично вірогідним. Вірогідно можна припустити, що підвищення білковості з геном GPC-B1 певною мірою знижує указану кореляційну залежність. Підтвердженням цього судження є те, що із виділених високобілкових ліній в зеленості від походження з чистотою 3,3–6,8% поєднують високу білковість і урожайність на рівні чи вище стандартів (на 5,2–12,3%). Водночас серед ліній зі стандартним вмістом білка частота високо урожайних ліній значно вища (7,4–9,6%), перевищення досягає 12,3–22,6%.

Показники седиментації SDS – 30 не є прямим методом визначення якості зерна, але за багатьма дослідженнями його результати мають високий позитивний кореляційний зв'язок з основними хлібопекарськими якостями [20]. Також метод ефективно використовується для оцінки якості зерна на ранніх етапах селекції. В наших дослідженнях рекомбінантні лінії мають суттєво вищий рівень седиментації ніж лінії зі стандартним вмістом білка (табл. 3). Кореляційний зв'язок між чими показниками має досить високі позитивні показники, на рівні  $r = 0,58–0,72$ . Це свідчить, що високобілкові лінії від схрещувань з геном GPC – B1 і сортів з високими хлібопекарськими показниками, можуть значно підвищувати цей показник в порівнянні з батьківськими компонентами. В наших дослідженнях таке поєднання серед високобілкових ліній проявляється з частотою 9,2%–16,3% у залежності від походження лінії.

Найбільш бажаним поєднанням в одному генотипі це: високий вміст білка з відмінними хлібопекарськими показниками та врожайністю на рівні стандарту. На жаль частота таких ліній в наших дослідженнях не висока, в залежності від гібридної комбінації знаходяться в межах 1,7–3,4%. Таким чином лінії проходять подальше в конкурсних екологічних сортовипробуваннях та на різних агрофонах, як можливі кандидати для передання нового сорту до Державного сорту випробування.

Висновки. Введення в місцевий генофонд м'якої озимої пшениці шляхом гібридизації гена GPC-B1 змінює показники вмісту білка в зерні. Вміст білка суттєво підвищується під впливом гена GPC-B1. Також він може позитивно впливати на хлібопекарські показники. Не зважаючи на те що такий метод селекційного процесу з новим генетичним джерелом не розповсюдженим, є лінії які стабільно підтверджують перевищення білковості в порівнянні з кращим батьківським компонентам. Кількість ліній, які б відповідали всім сучасним вимогам сорту, від початкової дорівнює 1,7–3,4%. Також ці лінії ще потребують детального вивчення як в польових, так й лабораторних умовах.

Також була виявлена більш значна диференціація за показниками якості на варіанти з підвищеною дозою добрив. Як наслідок збільшується ефективність добору. Використовуючи такі методи як визначення білка інфрачервоним аналізатором с подальшою перевіркою методом Кельдаля та рівень седиментації методом SDS – 30 на первинних ланках селекції й с подальшою перевіркою на різного агрофона дає змогу вести селекційний процес на поліпшення біохімічних показників зерна.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Правдзіва, І. В., Василенко, Н. В., Вологдіна, Г. Б., Замліла, Н. П., Колючий, В. Т. Фактори впливу на якість зерна та борошна нових сортів пшениці м'якої озимої 2. Показники якості борошна. Миронівський вісник. 2016. (3), 191–202.
2. Фанін, Я. С., Литвиненко, М. А., & Молодченкова, О. О. Біохімічний склад та технологічна оцінка зерна інтрогресивних ліній пшениці м'якої озимої з генами високої білковості від *Triticum dicoccoides* та *Aegilops tauschii*. Publishing House "Baltija Publishing". 2022. С. 27–31.
3. Маханьова Ю. М. Експорт зернових культур України, ЄС і країн світу в умовах сучасних інтеграційних процесів. Ю. М. Маханьова. Проблеми економіки. 2015. – №1. – С. 27–36.
4. Рибалка О. І. Сучасні дослідження якості зерна пшениці у світі: генетика, біотехнологія та харчова цінність запасних білків. О. І. Рибалка, Б. В. Моргун, В. М. Починок. Фізіологія і біохімія культурних рослин. 2012. – Т. 44, №1. С. 3–22.
5. Воропай, Г., Молеца, Н., Поліщук, В. Сучасні тенденції розвитку сільськогосподарського виробництва на осушуваних землях Лівобережного Лісостепу України. Вісник аграрної науки. 2021. 99(5), 50–59.
6. Литвиненко, М. А. 100-year history of the development of bread winter wheat breeding programs. Plant Varieties Studying and Protection. 2016. (2(31), 75–82.
7. Shewry P.R. Improving the protein content and composition of cereal grain. J. Cereal Sci. 2007;46:239-250. DOI 10.1016/j.jcs.2007.06.006.
8. Johnson V.A., Mattern P.J., Peterson C.J., Kuhr S.L. Improvement of wheat protein by traditional breeding and genetic techniques. Cereal Chem. 1985;62(5). P. 350–355.
9. 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. available at <http://wileyonlinelibrary.com>. DOI 10.1111/pbr.12047.

10. Avivi, L. High protein content in wild tetraploid *Triticum dicoccoides* Korn. Proc. 5th Int. Wheat Genet. Symp. Ed. S. Ramanujam. Indian Soc. of Genet. and Plant Breed. New Delhi, India. 1978. P. 372–380.
11. Joppa, L. & Cantrell, R. Chromosomal location of genes for grain protein content of wild tetraploid wheat. *Crop Sci.*, 1990. №30, P. 1059–1064.
12. Distelfeld, A., Cakmak, I., Peleg, Z., Ozturk, L., Yazici, A.M., Budak, H., Saranga, Y. & Fahima, T. Multiple QTL-effects of wheat Gpc-B1 locus on grain protein and micronutrient concentrations. *Physiol. Plantarum*. 2007. 129. P. 635–643.
13. Chee, P., Elias, E., Anderson, J. & Kianian, S.. Evaluation of a high grain protein QTL from *Triticum turgidum* L. var. *dicoccoides* in an adapted durum wheat background. *Crop Sci.* 2001. 41. P. 295–301.
14. Fox S.L., Townley-Smith T.F., Humphreys D.G., McCallum B.D., Fetch T.G., Gaudet D.A., Gilbert J.A., Menzies J.G., Noll J.S., Howes N.K. Somerset hard red spring wheat. 2005. available at [http://www.pgdc.ca/pdfs/wrt/cultivar\\_descriptions/Somerset.pdf](http://www.pgdc.ca/pdfs/wrt/cultivar_descriptions/Somerset.pdf). (дата звернення: 10.06. 2023)
15. Brevis J.C., Dubcovsky J. Effects of the chromosome region including the Gpc-B1 locus on wheat grain and protein yield. *Crop Sci.* 2010. № 50. P. 93–104. DOI 10.2135/cropsci2009.02.0057.
16. ДСТУ 4117:2007 Зерно та продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. – Держспоживстандарт України. 2007 С. 8.
17. Пат. № 17023 Україна, (2006) А01Н 1/04. Спосіб непрямої оцінки «сили» борошна – седиментація SDS-30. О.І. Рибалка, М.В. Червоніс, М.Г. Парфентьев, Д.В. Аксельруд; патентообладатель Селекційно-генетичний інститут. – Нау200610062; заявл. 06.02.2006; опубл. 15.09.2006; Бюл. №9. С. 6.
18. Методика державного сортопробування сільськогосподарських культур. Зернові, круп'яні та зернобобові. Київ, 2001. С. 66.
4. Rybalka O. I. (2012). Suchasni doslidzhennia yakosti zerna pshenytsi u sviti: henetyka, biotekhnolohiia ta kharchova tsinnist zapasnykh bilkiv. [Modern studies of wheat grain quality in the world: genetics, biotechnology and nutritional value of reserve proteins]. O. I. Rybalka, B. V. Morhun, V. M. Pochynok. *Fiziolohiia i biokhimiia kulturnykh roslyn*. – T. 44, №1. S. 3–22. [in Ukrainian]
5. Voropai, H., Moleshcha, N., Polishchuk, V. (2021). Suchasni tendentsii rozvytku silskohospodarskoho vyrobnytstva na osushuvanykh zemliakh Livoberezhnogo Lisostepu Ukrainy. [Modern trends in the development of agricultural production on the drained lands of the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine]. *Visnyk ahrarnoi nauky*, 99(5), 50–59. [in Ukrainian]
6. Lytvynenko, M. A. (2016). 100-year history of the development of bread winter wheat breeding programs. *Plant Varieties Studying and Protection*, (2(31)), 75–82.
7. Shewry P.R. (2007). Improving the protein content and composition of cereal grain. *J. Cereal Sci.*;46:239-250. DOI 10.1016/j.jcs.2007.06.006.
8. Johnson V.A., Mattern P.J., Peterson C.J., Kuhr S.L. (1985). Improvement of wheat protein by traditional breeding and genetic techniques. *Cereal Chem.*62(5). R. 350–355.
9. 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*. available at <http://wileyonlinelibrary.com>. DOI 10.1111/pbr.12047.
10. Avivi, L. (1978). High protein content in wild tetraploid *Triticum dicoccoides* Korn. Proc. 5th Int. Wheat Genet. Symp. Ed. S. Ramanujam. Indian Soc. of Genet. and Plant Breed., New Delhi, India, pp. 372–380.
11. Joppa, L. & Cantrell, R. (1990). Chromosomal location of genes for grain protein content of wild tetraploid wheat. *Crop Sci.*, 30, pp. 1059-1064.
12. Distelfeld, A., Cakmak, I., Peleg, Z., Ozturk, L., Yazici, A.M., Budak, H., Saranga, Y. & Fahima, T. (2007). Multiple QTL-effects of wheat Gpc-B1 locus on grain protein and micronutrient concentrations. *Physiol. Plantarum*, 129, pp. 635–643.
13. Chee, P., Elias, E., Anderson, J. & Kianian, S. (2001). Evaluation of a high grain protein QTL from *Triticum turgidum* L. var. *dicoccoides* in an adapted durum wheat background. *Crop Sci.*, 41, pp. 295–301.
14. Fox S.L., Townley-Smith T.F., Humphreys D.G., McCallum B.D., Fetch T.G., Gaudet D.A., Gilbert J.A., Menzies J.G., Noll J.S., Howes N.K. (2005) Somerset hard red spring wheat. URL: <http://www.pgdc.ca/pdfs/wrt/cultivardescriptions/Somerset.pdf>.
15. Brevis J.C., Dubcovsky J. (2010) Effects of the chromosome region including the Gpc-B1 locus on wheat grain and protein yield. *Crop Sci.*;50:93-104. DOI 10.2135/cropsci2009.02.0057.
16. Зерно та продукти його переробки. Vyznachennia pokaznykiv yakosti metodom infrachervonoj spektroskopii. [Grain and products of its processing. Determination of quality indicators by infrared spectroscopy]. (2007). DSTU 4117:2007. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. C. 8. [in Ukrainian]
17. Пат. № 17023 Україна, (2006) А01Н 1/04. Спосіб непрямої оцінки «сили» борошна – седиментація SDS-30. О.І. Рибалка, М.В. Червоніс, М.Г. Парфентьев, Д.В. Аксельруд; патентообладатель Селекційно-генетичний інститут. – Нау200610062; заявл. 06.02.2006; опубл. 15.09.2006; Бюл. №9. С. 6.

## REFERENCES:

1. Pravdziva, I. V., Vasylenko, N. V., Volohdina, H. B., Zamlila, N. P., & Koliuchyi, V. T. (2016). Faktory vplyvu na yakist zerna ta boroshna novykh sortiv pshenytsi miakoi ozymoi 2. Pokaznyky yakosti boroshna. [Factors affecting the quality of grain and flour of new soft winter wheat varieties 2. Flour quality indicators] *Myronivskyi visnyk*. (3), 191–202. [in Ukrainian]
2. Fanin, Ya. S., Lytvynenko, M. A., & Molodchenkova, O. O. Biokhimiiani sklad ta tekhnolohichna otsinka zerna introhresyvykh linii pshenytsi miakoi ozymoi z henamy vysokoi bilkovosti vid *Triticum Dicoccoides* ta *Aegilops Tauscnii*. [Biochemical composition and technological evaluation of the grain of introgressive lines of soft winter wheat with high protein genes from *Triticum Dicoccoides* and *Aegilops Tauscnii*]. Publishing House "Baltija Publishing". 2022. S. 27–31. [in Ukrainian]
3. Makhanova Yu. M (2015). Eksport zernovykh kultur Ukrainy, YeS i krain svitu v umovakh suchasnykh intehratsiinykh protsesiv. Yu. M. Makhanova. [Export of grain crops of Ukraine, the EU and the countries of the world in the conditions of modern integration processes]. *Problemy ekonomiky*. №1. – S. 27–36. [in Ukrainian]

SDS-30. O.I. Rybalka, M.V. Chervonis, M.H. Parfentiev, D.V. Akselrud; patentobladatel Seleksiionhenetychnyi instytut. – Neu200610062; zaiavl. 06.02.2006; opubl. 15.09.2006; Biul. №9. 6. [in Ukrainian]

18. Metodyka derzhavnoho sortovyprobuvannia silskohospodarskykh kultur. Zernovi, krupiani ta zernobobovi. [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Cereals, cereals and legumes] Kyiv, 2001. 66 [in Ukrainian]

**Литвиненко М.А., Фанін Я.С. Дослідження ліній пшениці озимої м'якої від парних схрещувань місцевих сортів з лініями донорами гена GPC-B1**

**Вступ.** На даному етапі селекція стоїть перед вразливим і складним питанням як підвищити білковість зерна пшениці не втративши врожайності. Як відомо, за останні півстоліття врожайність пшениці збільшилась у 2–2,5 раза, але через негативну кореляцію між врожайністю та білковістю зерна, якість зерна була втрачена в порівнянні зі стародавніми екстенсивними сор-тами. Новим етапом селекції на якість зерна озимої пшениці може стати ген GPC-B1. Враховуючи успішний досвід створення сортів у світі з використанням цього гена у світі, також у відділі селекції й насінництва пшениці СГІ-НСНЦ була розпочата селекційна програма з поліпшенням якості зерна пшениці з залученням гена GPC-B1. **Мета.** Установити ефективність добору за вмістом білка в зерні у рекомбінантних лініях створених від гібридизації з донорськими лініями носіями гена GPC-B1. **Методи.** Дослідження проводилися на дослідних полях СГІ НЦНС у 2020–2022 рр. **Методи досліджень:** польові, лабораторні, статистичні. **Результати.** Був проведений добір експериментальних ліній створених від парних схрещувань місцевих сортів с лініями носіями гена GPC-B1. Добір проводився, з генерації F 3 селекційного розсадника (3200 ліній), за морфологічними ознаками й білковістю зерна. Добір продовжувався в попередньому сортовипробуванні F 4 (296 ліній) та сортовипробуванню F 5 (118 ліній) за показниками морфологічної однорідності, врожайністю, білковістю, рівень седиментації. В результаті ми отримали лінії з кожної гібридної популяції які ми більший рівень білковості зерна та хлібопекарських властивостей ніж у батьківських компонентів та врожайність на рівні зі стандартом. На жаль частота таких ліній в наших дослідженнях не висока також ці лінії ще потребують детального вивчення як в польових, так й лабораторних умовах. **Висновки.** Введення в місцевий генофонд м'якої озимої пшениці шляхом гібридизації гена GPC-B1 змінює показники вмісту білка в зерні. Вміст білка суттєво підвищується під впливом гена GPC-B1. Також він може позитивно впливати на хлібопекарські показники (седиментація). Кількість ліній, які б відповідали всім сучасним вимогам сорту, від початкової дорівнює 1,7–3,4%. Таким чином лінії проходять подальше в конкурсних екологічних сортовипробуваннях та на різних агрофонах, як можливі

кандидати для передання нового сорту до Державного сорту випробування.

**Ключові слова:** Triticum aestivum L., якість зерна, селекційний добір, мінеральне живлення, генетичні джерела високої білковості, вміст білка, хлібопекарські властивості.

**Litvinenko M.A., Fanin Ya.S. Study of soft winter wheat lines from pair crosses of local varieties with GPC-B1 gene donor lines**

**Introduction.** At this stage, breeding is faced with a tricky and difficult question of how to increase the protein content of wheat grain without losing yield. As you know, over the past half century, the yield of wheat has increased by 2–2.5 times, but due to the negative correlation between the yield and protein content of the grain, the quality of the grain has been lost in comparison with the ancient extensive varieties. The GPC-B1 gene can become a new stage of breeding for winter wheat grain quality. Taking into account the successful experience of creating varieties in the world with the use of this gene in the world, the selection program for improving the quality of wheat grain with the involvement of the GPC-B1 gene was also started in the wheat selection and seed production department of the SGI-NSNC. **Goal.** To establish the efficiency of selection for protein content in grain in recombinant lines created from hybridization with donor lines carrying the GPC-B1 gene. **Methods.** The research was carried out in the research fields of the SGI of the National Academy of Sciences in 2020–2022. Research methods: field, laboratory, statistical. The results. The selection of experimental lines created from paired crosses of local varieties with lines carrying the GPC-B1 gene was carried out. The selection was carried out from the F 3 generation of the breeding nursery (3200 lines) based on morphological characteristics and grain protein content. The selection continued in the preliminary variety test F 4 (296 lines) and variety test F 5 (118 lines) according to indicators of morphological homogeneity, yield, protein, sedimentation level. As a result, we obtained lines from each hybrid population that have a higher level of grain protein and bread-making properties than the parental components, and the yield is on par with the standard. Unfortunately, the frequency of such lines in our studies is not high, and these lines still need to be studied in detail, both in sex and laboratory conditions. **Conclusions.** The introduction of the GPC-B1 gene into the local gene pool of soft winter wheat by hybridization changes the protein content of the grain. The protein content is significantly suspended under the influence of the GPC-B1 gene. Also, it can have a positive effect on bakery indicators (sedimentation). The number of lines that would meet all the modern requirements of the variety is equal to 1.7–3.4% of the initial one. In this way, the lines pass further in competitive environmental variety tests and on different agro backgrounds as possible candidates for transfer of a new variety to the State variety test.

**Key words:** Triticum aestivum L., grain quality, selective selection, mineral nutrition, genetic sources of high protein, protein content, baking properties.