



АГРОНОМІЯ

УДК 577.2:577.112

DOI <https://doi.org/10.32782/naturaljournal.4.2023.13>

БІОХІМІЧНА ОЦІНКА ІНТРОГРЕСИВНИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У СЕЛЕКЦІЇ

І. І. Моцний¹, В. І. Файт²

Важливими показниками якості зерна пшениці є співвідношення окремих білкових фракцій зерна пшениці, особливо фракцій клейковинних білків (глютенінів та гліадінів). Доведено, що гліадини є мономерними білками і впливають на такі показники тіста, як його в'язкість та розтяжність. Глютеніни здатні формувати високополімерні макромолекулярні агрегати та впливають на такі важливі показники тіста, як пружність та еластичність. Показано, що протейновий профіль білків зерна пшениці за молекулярною масою є специфічним для кожного сорту пшениці та його технологічного класу. Одним із найпотужніших інструментів розширення генетичної мінливості пшениці, зокрема стосовно показників якості, є віддалена гібридизація з дикими співродичами, які несуть невичерпний резерв господарсько цінних ознак. Відомо, що дикорослі види за низького рівня зернової продуктивності спроможні накопичувати гіпертрофовано багато білка в зерні. Метою даного дослідження було визначити селекційну цінність похідних віддаленої гібридизації пшениці за агрономічними та біохімічними показниками, пов'язаними з якістю зерна. Для отримання результатів досліджень використовувалися польові, лабораторні та статистичні методи. Проаналізовано вдосконалені інтрогресивні лінії пшениці м'якої озимої, отримані в результаті гібридизації первинних інтрогресивних ліній і амфілоїдів за участю *Aegilops tauschii* і *Elymus sibiricus* із сучасними сортами селекції Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення за біохімічними показниками, пов'язаними з формуванням якості зерна. Розроблено метод кількісного визначення окремих фракцій білка зерна з різною молекулярною масою з використанням високоефективної рідинної хроматографії. Дослідження вмісту білка та його фракційного складу дало змогу виявити генотипні особливості досліджених ліній за цими показниками. Проведені дослідження дали змогу рекомендувати для оцінки нового генетичного матеріалу пшениці на якість зерна такі біохімічні показники: уміст білка, абсолютний уміст білка на 1 000 зернин, уміст клейковини, седиментація та вміст

¹ кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу загальної та молекулярної генетики (Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення Національної академії аграрних наук України)
e-mail: motsnyyii@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1812-9481

² доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, завідувач відділу загальної та молекулярної генетики (Селекційно-генетичний інститут – Національний центр насіннезнавства та сортовивчення Національної академії аграрних наук України)
e-mail: faygen@ukr.net
ORCID: 0000-0001-9994-341X

індивідуальних фракцій глютенінів і гліадинів та їх співвідношення. На основі дослідження виділено інтрогресивні лінії, які можуть становити інтерес для подальшої селекційної роботи на Півдні України за умови збереження чужинних генних комплексів, а використані під час дослідження лінії біохімічні показники – для добору цінних за якістю зерна генотипів.

Ключові слова: урожайність пшениці, білковість зерна, седиментація, фракції білка.

BIOCHEMICAL EVALUATION OF INTROGRESSIVE WINTER WHEAT LINES AND PROSPECTS FOR THEIR USE IN BREEDING

I. I. Motsnyi, V. I. Fait

An important indicator of wheat grain quality is the ratio of individual protein fractions of wheat grain, especially the fractions of gluten proteins (glutenins and gliadins). Gliadins have been shown to be monomeric proteins that affect dough properties such as viscosity and extensibility. Glutenins are capable of forming high-polymer macromolecular aggregates and affect such important dough parameters as elasticity and elasticity. It has been shown that the protein profile of wheat grain proteins by molecular weight is specific to each wheat variety and its technological class. One of the most powerful tools for expanding the genetic diversity of wheat, in particular with regard to quality traits, is remote hybridization with wild relatives, which carry an inexhaustible reserve of economically valuable traits. It is known that wild species with low grain productivity are able to accumulate a hypertrophied amount of protein in the grain. The aim of this study was to determine the breeding value of wheat distant hybridization derivatives by agronomic and biochemical parameters related to grain quality. Field, laboratory and statistical methods were used to obtain the results of the research described in the article. The improved introgressive lines of winter bread wheat obtained as a result of hybridization of primary introgressive lines and amphiploids with *Aegilops tauschii* and *Elymus sibiricus* with modern varieties of PBGI-NCSCI selection were analyzed for biochemical parameters related to the formation of grain quality. A method for the quantitative determination of individual grain protein fractions with different molecular weights using high-performance liquid chromatography was developed. The study of protein content and its fractional composition allowed to reveal the genotypic features of the studied lines according to these indicators. The conducted studies allowed us to recommend the following biochemical parameters for the evaluation of new wheat genetic material for grain quality: protein content, absolute protein content per 1000 grains, gluten content, sedimentation and content of individual fractions of glutenins and gliadins and their ratio. Based on the study, introgressive lines were identified that may be of interest for further breeding work in southern Ukraine, provided that alien gene complexes are preserved, and the biochemical parameters used in the study of the lines can be used to select genotypes valuable for grain quality.

Key words: wheat yield, grain protein content, sedimentation, protein fractions.

Вступ

В аграрному секторі України пшениця *Triticum aestivum* L. займає посівні площі близько 6–7 млн га, з яких близько 2,5–3,0 млн га займають сорти Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення. Значення цієї культури для народного господарства нашої держави важко переоцінити. Однією з вимог, що постає перед селекціонером, є створення високопродуктивних сортів пшениці з високою якістю зерна, яка, перш за все, оцінюється за вмістом білка в ньому (Солодушко і Середа, 2014). Методом внутрішньовидової гібридизації вдалося значно збільшити потенційну врожайність культури (Литвиненко, 2016), але разом зі зростанням продуктивності загострилася проблема генетичного

підвищення білковості, яка відноситься до розряду найзначніших науково-практичних завдань селекції. У світі давно відомі зразки пшениці м'якої озимої з підвищеним вмістом білка (на 2–3%), проте за посіву в інших умовах вони далеко не завжди підтверджують ці переваги (Mikulikova et al., 2009) і часто формують дрібне і щупле зерно (Моцний та ін., 2021). Наявність зворотного зв'язку між вмістом білка і продуктивністю рослин, а також високий внесок екологічної дисперсії ознаки створюють значні труднощі для селекції на підвищений вміст білка (Mikulikova et al., 2009).

Важливими показниками якості зерна пшениці є співвідношення окремих білкових фракцій зерна пшениці, особливо фракцій клейковинних білків (глютенінів та гліадинів). Доведено, що гліадини є моно-

мерними білками і впливають на такі показники тіста, як його в'язкість та розтяжність. Глютеніни здатні формувати високополімерні макромолекулярні агрегати та впливають на такі важливі показники тіста, як пружність та еластичність. Показано, що протеїновий профіль білків зерна пшениці за молекулярною масою є специфічним для кожного сорту пшениці та його технологічного класу (Mogel et al., 2000).

Одним із найпотужніших інструментів розширення генетичної мінливості пшениці, зокрема стосовно показників якості, є віддалена гібридизація з дикими співродичами, які несуть невичерпний резерв господарсько цінних ознак (Лифенко та ін. 2014). Відомо (Моргун та ін., 2016), що дикорослі види за низького рівня зернової продуктивності спроможні накопичувати гіпертрофовано багато білка в зерні (до 30–35%). Схрещуванням їх із високопродуктивними сортами пшениці вдається підвищити вміст білка в одержаних ліній до 21,8–22,5% (Похилько та ін., 2017), але, як правило, виділені форми поступаються районованим сортам за комплексом агрономічних ознак і в першу чергу за продуктивністю та МТЗ (Нарган та ін., 2016), з якими вміст білка часто пов'язаний небажаними кореляціями (Кульбіда та ін., 2016). Перспективними у цьому відношенні видаються схрещування з видами, що мають спільні з пшеницею геноми (Моргун та ін., 2021), особливо з донором генома D – *Aegilops tauschii* Coss. Застосування 42-хромосомних амфіплоїдів за участю *Ae. tauschii* дає змогу шляхом гомологічної кон'югації перенести в геном пшениці не лише гени якісних ознак егілопса (Doneva et al., 2018), а й цілі полігенні системи, що контролюють кількісні ознаки, зокрема крупнозерність і вміст білка (Mujeeb-Kazi et al., 2004).

Метою дослідження було визначити селекційну цінність похідних віддаленої гібридизації пшениці за агрономічними та біохімічними показниками, пов'язаними з якістю зерна.

Матеріал і методи

Рослинний генетичний матеріал включав 736 інтрогресивних ліній м'якої пшениці різних поколінь, ступенів насичення та походження, а також три сорти стандарти для аридного кліматичного поясу (Мудрість, Антонівка та Куяльник). Лінії були отримані шляхом віддаленої гібридизації кількох сортів пшениці м'якої озимої селекції СГІ-НЦНС (Одеська 267, Альбатрос,

Селянка, Куяльник, Гурт та ін.) з одним колекційним зразком (H74/90-245), трьома оригінальними первинними інтрогресивними лініями (E200/97-2, 592PH16 та E214/09-1), а також п'ятьма амфіплоїдами (АД Жирова, ES4, ES17, ES20 та ES25), отриманими за участі *Ae. tauschii*. Окрім того, кілька вдосконалених ліній було отримано за участі сорту Віген, створеного шляхом гібридизації з неповним октоплоїдним пшенично-еліпусним амфіплоїдом *Elytricum fertile* (Моцний та ін., 2017), або після заключного схрещування бекросованих гібридів з лінією MA1, яка має модифіковану транслокацію 1BL.1RS_m на генетичному тлі ярого сорту Pavon 76 (Lukaszewski et al., 2000). При цьому зразок H74/90-245 був створений у Добруджанському сільськогосподарському інституті-Генерал Тошево (колишній Інститут пшениці та соняшнику, Болгарія) від схрещування Tom Pouce Blanc / AD(*T. timopheevii* Zhuk./*Ae. tauschii* ssp. *strangulata*) // Аврора /3/ Rusalka (Spetsov & Savov, 1992). У Національному центрі генетичних ресурсів рослин України (НЦГРПУ) Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН (Харків, Україна) він був інтродукований під номером IU029995.

АД Жирова (геномна формула A^uGD) був створений шляхом схрещування *T. militinae* Zhuk. et Migusch./*Ae. tauschii*, як і *T. miguschovae* Zhir. Обидві лінії однакові за морфологічними ознаками та параметрами стійкості до хвороб. Однак *T. miguschovae* колосилась на 4–5 днів пізніше АД Жирова, була трохи нижчою і мала крупніші зерна. У НЦГРПУ вони відрізняються каталожними номерами (№ UA0500015 та UA0500016 відповідно). Окрім того, нам не вдалося отримати гібриди Одеська 267 / *T. miguschovae* на відміну від Одеської 267/АД Жирова, а гібриди від обернених схрещувань загинули після декількох бекросів від цитоплазматичної чоловічої стерильності. Елітні синтетичні (ES) лінії (*T. durum* Desf. Altar 84/ зразки *Ae. tauschii*, ABD) були створені в СИММУТ (Мексика) (Mujeeb-Kazi & Hettel, 1995; Mujeeb-Kazi et al., 2008) й отримані за допомогою д-ра О.І. Рибалки (Рибалка, 2011).

Увесь експериментальний матеріал був отриманий методом *Pedigree* унаслідок численних безперервних індивідуальних доборів починаючи з першого покоління, що розщеплюється. Гібридні популяції пройшли скринінг на природному та штучному фоні досліджених захворювань. Елітні рослини

відбирали за наявністю стійкості до хвороб та чужинних морфологічних ознак як під час бекросування, так і після кожного самозапилення. Під час виділення ліній особлива увага приділялася їх константності як за окремими ознаками, зокрема чужинними, так і за їх комплексом. Тому деякі чужинні ознаки були виявлені в їхньому потомстві.

Полюві експерименти проводилися на дослідних полях СГІ-НЦНС по чорному пару без поливу, а також на дослідних полях ДП «ДГ» Покровське» СГІ-НЦНС у 2016–2018 рр. Посів проводився селекційною тракторною сівалкою ССФК-7 без повторності, облікова площа ділянки становила 10 м² із розрахунку 5 млн схожих зернин/га. Стандартні сорти висівали у двох реплікаціях через кожні 20 номерів. Добрива вносили так: 1) 150 кг/га нітроамофоски – під передпосівну культивуацію; 2) ранньовесняне підкореневе підживлення – аміачною селітрою в дозі 150 кг/га; 3) позакореневе підживлення проводили обприскуванням бакової суміші із застосуванням карбаміду з розрахунку 7,7 кг/га діючої речовини азоту. Урожай збирали селекційним комбайном Samro-130.

Уміст білка визначали методом Кельдаля (Kjeldahl, 1983). Масу тисячі зернин (МТЗ) вимірювали стандартною методикою (ДСТУ 4138-2002) (ДСТУ 4138-2002), двома наважками по 500 зернин. Натуру визначали на тих самих зразках 1 000 зернин. Щільність борошна визначали у тих зразках борошна, які готували для визначення вмісту білка. Для добору ліній із високим умістом білка були розраховані додаткові критерії білковості: «Збір білка з одиниці площі» (ц/га) = («Урожайність сухого зерна», ц/га × «Загальний вміст білка в зерні», %) / 100% і «Абсолютний вміст білка в перерахунку на 1000 зернин» (г) = («МТЗ», г × «Загальний вміст білка», %) / 100%, як у (Моцний та ін., 2019; Szulc et al., 2020). Їх використання дасть змогу усунути дисперсію за ознакою вмісту білка внаслідок коливань в анатомічній структурі зернівки або продуктивності рослин під впливом чинників зовнішнього середовища.

Кількісне визначення білків зерна пшениці проводили за допомогою метода високоефективної рідинної хроматографії. Екстракцію білків із розмеленого зерна пшениці проводили у 0,05 М фосфатному буферному розчині (рН 6,9), що містив 1,5% SDS (200 мг борошна/10 мл), у комбінації з ультразвуком при 20 кГц, 1-15W 2-3 хв.

Розділення білків проводили методом високоефективної рідинної хроматографії на хроматографі для ВЕРХ «Gilson» із використанням колонки Zorbax GF-250. Як елюент білків використовували ацетонітріл і воду (50/50 ацетонітріл/Н₂О та 0,1% трифлуороцтової кислоти). Хроматографію проводили за умови 0,5 мл/хв, UV детектор LCD 254 нм, насос HPP 5001. Площа піків була обрахована на інтеграторі C-R3A (Shimadzu). Як стандарти використовували суміш чистих білків із відомими молекулярними масами фірми Sigma: феритин (330 кДа), фосфорилазу В (97 кДа), бичачий сироватковий альбумін (67 кДа), овальбумін (45 кДа), хімотрипсиноген (25 кДа), рибонуклеазу (13,7 кДа). Визначення окремих показників якості зерна (умісту клейковини та седиментації) проводили методом БІС на скануючому спектрометрі NIRSystems 5000 (США) в діапазоні довжини хвиль 1100–2500 нм.

Статистичний аналіз даних проводили за допомогою пакета прикладних програм STATISTICA.

Результати та обговорення

Із 736 досліджених інтрогресивних ліній були виділені кращі лінії, які мали значення загального вмісту білка, абсолютного вмісту білка на 1 000 зернин та збору білка на одиницю площі вище або на рівні стандартів (табл. 1, 2).

Визначення середніх показників умісту сирової клейковини та седиментації у досліджених ліній показало, що варіювання середніх значень цих показників не було значним (табл. 3). При цьому була відзначена сильна позитивна кореляція вмісту білка з умістом сирової клейковини (від 0,87*** до 0,96***) та седиментацією (від 0,58*** до 0,90***), які є показниками хлібопекарської якості борошна пшениці.

Установлено, що для характеристики борошна пшениці за якістю важливо знати не лише вміст білка, а й уміст та співвідношення індивідуальних фракцій глютенінів та гліадинів. Показано, що для характеристики зерна пшениці за якістю важливо враховувати співвідношення вмісту високомолекулярних та низькомолекулярних глютенінів та вмісту гліадинів та високомолекулярних глютенінів (Morel et al., 2000). Співвідношення вмісту високомолекулярних та низькомолекулярних глютенінів є важливим індикатором еластичності тіста. Якщо воно вище за 0,6, еластичність тіста підвищується. Співвідношення вмісту гліадинів до високомолекулярних агляти-

Таблиця 1

Найкращі селекційні лінії за комплексом ознак (2016 р.)

Назва сорту чи лінії	Урожайність, ц/га			Білок, %			ЗБ, г	МТЗ, г			АВБ, г	SDS
	\bar{x}	2016 СГІ	2016 П	\bar{x}	2016 СГІ	2016 П		\bar{x}	2016 СГІ	2016 П		
Антонівка (St)	73,8	85,1	52,1	10,1	9,5	12,4	7,4	41,5	44,2	37,7	4,1	54
Куяльник (St)	76,8	90,4	56,7	11,0	10,7	13,2	8,4	40,5	42,1	39,8	4,5	65
Мудрість (St)	75,7	88,9	52,1	11,1	10,7	13,9	8,3	41,7	42,8	40,5	4,6	60
Щедрість (St)	74,7	88,7	53,2	10,2	9,6	12,5	7,6	37,6	40,0	34,3	3,8	43
Од.267 (rec)	66,9	77,0	48,5	10,8	10,9	12,9	7,2	40,2	41,4	37,7	4,3	58
E2363/14	65,2	74,0	49,3	11,5	10,9	14,1	7,4	43,5	44,3	43,5	5,0	64
E2368/14	68,8	76,5	51,8	11,5	11,6	14,1	7,8	42,9	42,9	43,2	4,9	58
E2369/14	66,4	76,0	54,2	11,7	11,0	14,5	7,7	43,1	42,6	41,4	5,0	69
H764/13	69,8	75,0	52,2	11,2	11,2	13,5	7,8	39,8	41,0	36,8	4,4	42
E1089/13	57,5	65,0	50,7	11,7	10,8	14,6	6,7	41,0	40,5	41,8	4,8	33
B2669/14	68,9	75,5	45,3	10,6	10,1	13,1	7,3	39,3	40,9	35,8	4,1	44
F2681/14	59,7	81,0	39,5	11,8	11,2	13,6	6,9	46,7	46,2	44,5	5,5	55
F2682/14	65,3	72,5	45,2	11,6	11,1	13,6	7,5	47,1	50,7	42,3	5,4	55
E1091/13	58,4	63,0	48,0	11,9	11,5	13,8	6,9	41,6	42,1	40,1	4,9	76
E2776/14	71,6	78,0	55,0	10,8	10,3	13,5	7,7	40,5	40,7	39,0	4,3	59
E2792/14	72,4	87,5	57,2	10,8	10,7	13,0	7,8	39,8	40,8	37,1	4,3	53
E1598/12	61,7	82,0	44,7	11,3	11,0	13,7	7,0	37,0	39,8	33,4	4,2	50
E175/09	57,2	73,5	45,0	11,6	11,3	14,5	6,6	38,2	39,0	34,5	4,4	55
F239/09	73,3	84,7	48,0	11,3	10,2	14,3	8,3	40,8	40,9	37,6	4,6	67
B241/09	76,7	90,5	57,1	11,9	10,8	14,3	9,1	41,2	42,4	38,6	4,9	80
Од.267b	73,2	85,4	47,8	11,1	10,4	13,6	8,1	41,9	44,2	36,2	4,7	63
HP _{0,05}	5,2	14,1	6,3	0,3	1,0	0,4	0,5	1,8	1,9	3,0	0,3	-

Примітки: X – середні значення по всіх умовах дослідів; СГІ – дані отримано в умовах СГІ – НЦНС; П – дані отримано в с. Покровське Одеської обл. АВБ – абсолютний уміст білка на 1 000 зерен; МТЗ – маса 1 000 зерен; ЗБ – збір білка; SDS – седиментація SDS30°K

Таблиця 2

Інтрогресивні лінії з підвищеним абсолютним умістом білка та найкращі за врожайністю і білковістю (у середньому за 2017–2018 рр.)

Назва сорту чи лінії	АВБ, г	Б, %	Ур, ц/га	ЗБ, ц/га
1	2	3	4	5
Од. 267 (рекурент)	4,4	11,0	56,1	6,6
Антонівка (стандарт)	4,1	10,3	51,1	5,2
Куяльник (стандарт)	3,9	10,1	65,2	7,1
Мудрість (стандарт)	4,5	10,6	62,6	6,6
Панна (індикатор)	5,6	13,6	54,0	7,4
Лінії з підвищеним абсолютним умістом білка на 1 000 зерен				
IL50PH15	5,3	12,2	49,7	6,0
IL849/16	5,4	12,4	36,8	4,6
IL900/16	5,2	11,9	38,1	4,5
IL909/16	5,2	11,6	26,5	3,1
IL910/16	5,7	12,3	30,8	3,8
IL911/16	5,8	212,9	43,7	5,6
IL914/16	6,2	12,8	39,5	5,1
IL940/16	6,1	13,0	23,1	3,0
IL953/16	5,7	12,3	38,4	4,7
IL956/16	5,4	12,6	40,5	5,1

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
IL1023/16	5,1	11,3	62,2	7,1
IL1100/16	5,4	12,6	20,5	2,6
IL480/17	5,4	12,1	57,0	6,9
IL481/17	4,8	10,8	58,5	6,3
IL485/17	5,3	11,7	59,8	7,0
Лінії, найкращі за врожайністю і білковістю				
IL299/16	4,6	12,8	60,5	7,7
IL939/16	4,8	12,6	57,1	7,2
IL997/16	4,8	12,6	61,0	7,7
IL1039/16	4,6	11,4	62,2	7,1
E2792/14	4,2	12,0	60,9	7,3
IL1073/16	4,8	11,9	64,1	7,6
IL1161/16	4,5	12,6	75,4	9,5
IL1047/16	5,0	11,8	60,3	7,1
IL1050/16	4,8	11,7	59,0	6,9
IL665/18	4,3	11,1	62,9	7,0
E196/09	5,1	12,3	59,8	7,4
IL334/17	4,2	10,9	57,4	6,3
SD	0,5	1,1	4,1	1,4

Примітки: АВБ – абсолютний уміст білка на 1 000 зерен; Б – загальний уміст білка; Ур – урожайність; ЗБ – збір білка на одиницю площі

Таблиця 3

Середні значення показників умісту білка, сирової клейковини та седиментації у інтрогресивних ліній пшениці, $\bar{x} \pm s_x$

Рік урожаю	N	Ознака ²⁾				Умови сезону	Спосіб посіву
		Уміст білка, %	Δ Б, %	Уміст клейковини, %	Седиментація, мл		
2017	88	12,0±1,07 (9,2-14,2)	5,0	24,9±2,95 (16,4-31,4)	44,8±15,50 (36,0-62,0)	Естр.	БП
2018	56	10,9±0,67 (9,7-12,5)	2,8	-	42,3±11,87 (31,0-58,0)	Пос.	БП

Примітки: N – обсяг вибірки; Δ Б – розмах варіації за вмістом білка (max-min); Естр. – екстремальні, Пос – посушливі; БП – безперервний (міжряддя 15 см)

нінів є важливим показником рівноваги між показниками еластичності та розтяжності тіста (найкращим є співвідношення, близьке до 3).

Ураховуючи вищевикладене, нами було розроблено метод визначення кількісного вмісту окремих фракцій білків зерна пшениці з використанням вискоэффективної рідинної хроматографії.

Під час відпрацювання методу для екстракції було використано 0,05 М фосфатний буфер з рН 6,9-7,2, що містив SDS від 0,1% до 2% з обробитком ультразвуком та без нього. Як елюенти було використано етанол : вода (7:3, v/v), ізопропанол : вода (1:1, v/v), ацетонітрил : вода (1:1, v/v), що містили трифлюорооцтову кислоту в концентрації від 0,05% до 0,1% як стабіліза-

тор. Найкраще розділення окремих фракцій білків зерна пшениці було отримано за екстракції борошна 0,1 М фосфатним буфером з 1,5% SDS, рН 6,9 з обробитком ультразвуком та використанням як елюента ацетонітрил : вода (1:1, v/v) з 0,05% трифлюорооцтовою кислотою (рис. 1). Таким чином, було проведено дослідження окремих зразків зерна пшениці на вміст індивідуальних фракцій глютенінів та гліадинів та їх співвідношення. Отримані результати показали, що найбільшим умістом високомолекулярних глютенінів відрізнялися інтрогресивні лінії 'F2681/14' (14%) та 'E2369/14' (14,9%), а також сорт 'Мудрість' (13,5%). Співвідношення високомолекулярних та низькомолекулярних глютенінів, близьке до 0,6, виявлено у сор-

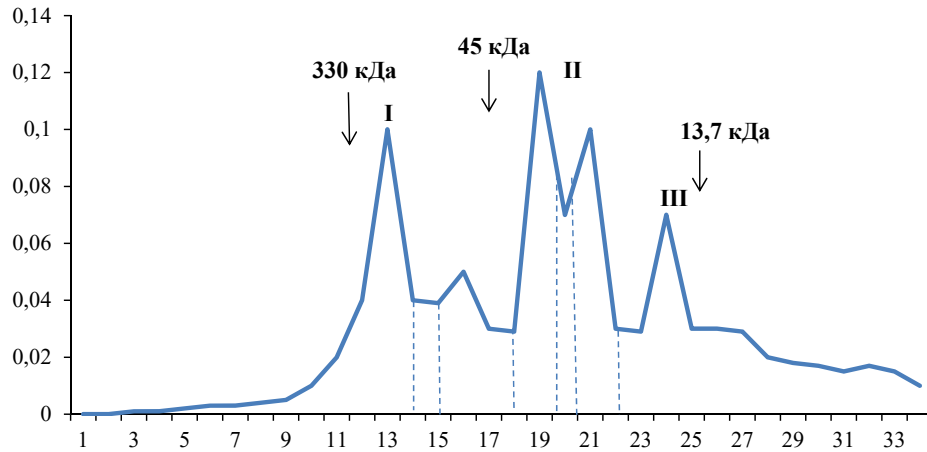


Рис. 1. Профіль елюції білків зерна пшениці лінії F2681/14 (Селянка / ES25 F₂ // Селянка F₆) Колонка Zorbax GF-250, швидкість 0,5 мл/хв, елюція ацетонітріл/вода (50/50 з 0,05% трифтороцтовою кислотою): I (а-с) – глютеніни, II (а-с) – гліадіни, III – альбуміни+глобуліни

тів 'Мудрість' (0,62), 'Антонівка' (0,57) та інтрогресивних ліній 'F2681/14' (0,61), 'E2369/14' (0,61) (табл. 4). Співвідношення вмісту гліадинів до високомолекулярних глютенінів, близьке до 3, було виявлено у інтрогресивних ліній 'K27' (3,68), 'F2681/14'(3,05) та 'F2682/14'(3,0). Відомо, що сорти 'Мудрість' та 'Антонівка' відносяться до «сильних пшениць», а лінії

'F2681/14', 'F2682/14' та 'E2369/14' характеризуються високими показниками седиментації та МТЗ.

Як маркери молекулярної маси використовували феритин (330 кДа), фосфорилазу Б (97 кДа), бичачий сировотковий альбумін (67 кДа), овальбумін (45 кДа), хімотрипсिनоген (25,6 кДа), рибонуклеазу (13,7 кДа).

Таблиця 4

Уміст індивідуальних фракцій білків зерна пшениці та їх співвідношення, %

Сорт, лінія	Уміст білка, %	Уміст ВМГ, (I-a)	Загальний уміст глютенінів, I (а-с)	Уміст гліадинів II (а-с)	Співвідношення I-a/I-бс	Співвідношення II/Ia
Мудрість	11,12	13,5	35,1	33,8	0,62	2,50
Антонівка	9,55	12,8	34,9	33,7	0,57	2,63
Одеська 267	12,84	11,8	34,2	35,3	0,52	2,99
Обрій (чиста лінія)	12,36	13,0	33,3	35,7	0,64	2,74
K27 (Обрій / <i>Elytricum fertile</i> // Обрій ¹² F ⁶)	12,23	10,6	34,8	39,1	0,43	3,68
<i>Elytricum fertile</i> (<i>Triticum aestivum</i> L. <i>Elymus sibiricus</i> L.)	16,98	9,8	34,6	36,5	0,29	3,72
F2681/14 (Селянка / ES25 F ₂ // Селянка F ₆)	11,43	14,0	36,7	42,8	0,61	3,05
F2682/14 (Селянка / ES25 F ₂ // Селянка F ₆)	11,24	12,7	36,8	38,1	0,52	3,00
E2369/14 (Од.267 / ПЕАГ // Од.267 ¹⁰ F ₅)	14,50	14,9	39,4	43,2	0,61	2,89
max	16,98	14,90	39,4	43,2	0,64	3,72
min	9,55	9,80	33,3	33,7	0,29	2,50
Δ	12,4 ± 0,72	12,5 ± 0,54	35,5 ± 0,61	37,6 ± 1,18	0,53 ± 0,037	3,02 ± 0,14
CV,%	17,38	12,81	5,14	9,44	21,15	14,07

Висновки

Отже, проведені дослідження дали змогу рекомендувати для оцінки нового генетичного матеріалу пшениці на якість зерна такі біохімічні показники, як: уміст білка, абсолютний уміст білка на 1 000 зернин, уміст клейковини, седиментація та вміст індивідуальних фракцій глютенінів і гліадинів та

їх співвідношення. На основі дослідження виділено інтрогресивні лінії, які можуть становити інтерес для подальшої селекційної роботи на Півдні України за умови збереження чужинних генних комплексів, а використані під час дослідження ліній біохімічні показники – для добору цінних за якістю зерна генотипів.

Список використаної літератури

- ДСТУ 4138-2002 Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Кіндрок М. О. та ін., Держспоживстандарт України, К., 2003 : 17–18.
- Кульбіда М. П., Моцний І. І., Коваль Т. М. Аналіз розподілу гібридів м'якої пшениці з амфіплоїдами за показниками якості зерна при оптимальному рівні азотного живлення. *Зб. наук. праць СГГ-НАЦ НАІС*. 2003. Вип. 4 (44). С. 27–41.
- Литвиненко М. А. 100 років розвитку селекційних програм пшениці м'якої озимої. *Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин*. 2016. № 2 (31). С. 75–82.
- Лифенко С. П., Нарган Т. П., Наконечний М. Ю. Інтрогресії в геном пшениці м'якої від різних донорів – проблемний, але перспективний напрям селекції. *Селекція і насінництво*. 2014. 105. С. 39–50 <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42043>
- Моргун В. В., Дубровна О. В., Моргун Б. В. Сучасні біотехнології отримання стійких до стресів рослин пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2016. 48 (3). 196–214.
- Моргун В. В., Рибалка О. І., Дубровна О. В. Генетичне поліпшення рослин: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Актуальні проблеми фізіології рослин і генетики: матеріали Міжнародної наукової конференції*. 2021. С. 246–248.
- Моцний І., Нарган Т., Єриняк М., Лифенко С. Застосування похідних неповного пшенично-елімусного амфіплоїда (НПЕА) *elytricum fertile* в селекції пшениці м'якої озимої. *Вісник аграрної науки*. 2017. Т. 95. № 8. С. 45–50. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-08>
- Моцний І. І., Литвиненко М. А., Молодченкова О. О., Соколов В. М., Файт В. І., Сечняк В. Ю. Створення вихідного матеріалу пшениці м'якої озимої із застосуванням міжвидових схрещувань для селекції на підвищений вміст білка. *Цитологія і генетика*. 2019. №53(2). С. 21–33. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020075>.
- Моцний І. І., Нарган Т. П., Наконечний М. Ю., Лифенко С. П., Молодченкова О. О., Міщенко Л. Т. Різноманіття похідних віддаленої гібридизації озимої пшениці за стійкістю до хвороб та іншими чужинними ознаками. *Вісник Одеського національного університету. Біологія*. 2021. 26 (2 (49)), 51–72.
- Нарган Т. П., Моцний І. І., Сечняк В. Ю., Лифенко С. П. Оцінка ліній пшениці м'якої озимої (*Triticum aestivum* L.) від віддаленої гібридизації за господарсько корисними ознаками. *Зб. наук. праць СГГ-НЦНС*. 2016. 28 (68). С. 15–32.
- Похилько С. Ю., Швартау В. В., Починок В. М., Михальська Л. М., Дуган О. М., Моргун Б. В. Комплексний аналіз вмісту загального білка в зерні м'якої пшениці, яка містить ген *Grs-B1* від *Triticum turgidum* ssp. *dicocoides*. *Вісник УТГіС*. 2017. Т. 15, № 1 С. 52–57.
- Рибалка О. І. Якість зерна пшениці та її поліпшення: монографія. Київ, 2011. 496 с.
- Солодушко М., Середа І. Особливості вирощування пшениці озимої в умовах північного Степу України. Роль науки у підвищенні технологічного рівня і ефективності АПК України: матеріали IV всеукр. наук.-практ. конф., Тернопіль, 15-16 травня 2014 р. Тернопіль: Крок. 2014. С. 169–171.
- Doneva S., Daskalova N., Spetsov P. Transfer of novel storage proteins from a synthetic hexaploid line into bread wheat. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2018. V. 105 (2). P. 113–122. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.015>.
- Kjeldahl J. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*. 1983. V. 22. N. 1. P. 366–383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151>
- Lukaszewski A. Manipulation of the 1BL.1RS translocation in wheat by induced homoeologous recombination. *Crop Sci*. 2000. V.40. N. 1 P. 216–225. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401216x>

Mikulikova D., Masar S., Horvathova V., Kraic J. Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech J. Food Sci.* 2009. V. 27 (6). P. 403–417.

Morel M. Y., Dehlon P., Autran J.-C., Leygue J. P., L'Helgouac'h Ch. B. Effects of temperature, sonication time and power setting on size distribution and extractability of total wheat proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*. 2000.V.77. N 226. P. 20–25.

Mujeeb-Kazi A., Hettel G. P. Utilizing wild grass biodiversity in wheat improvement: 15 years of wide cross research at CIMMYT. *Research Report*. N. 2. Mexico.D. F. CIMMYT. 1995.

Mujeeb-Kazi A, Deldago R, Cortes A, Cano S, Rosas V, Sanchez J. Progress in exploiting *Aegilops tauschii* for wheat improvement. *Ann. Wheat Newsletter*. 2004. 50: 79–88.

Mujeeb-Kazi A., Gul A., Farooq M., Rizwan S., Ahmad I. Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. *Aust. J. Agric. Res.* 2008. V. 59. N.10. P. 391–398. <https://doi.org/10.1071/AR07226>

Spetsov P., Savov M. A review on amphiploids in the *Triticeae*, obtained in Bulgaria during 1950–1990. *Wheat Inf. Serv.* 1992. V. 75. P. 1–6.

Szulc P., Ambrozy-Deregowska K., Mejza I., Kobus-Cisowska J., Ligaj M. The role of agrotechnical factors in shaping the protein yield of maize (*Zea mays* L.). *Sustainability*. 2020. V.12. N. 6833. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12176833>

References (translated & transliterated)

DSTU 4138-2002. (2003). Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachannia yakosti. Kindruk M.O. ta in. [Seeds of agricultural crops. Methods of determining quality]. Derzhspozhyvstandart Ukrainy, K., 17–18 [in Ukrainian].

Kulbida, M. P., Motsnyi, I. I., & Koval, T. M. (2003). Analiz rozpodilu hibrydiv miakoi pshenytsi z amfiploidamy za pokaznykamy yakosti zerna pry optimalnomu rivni azotnoho zhyvlennia [Analysis of the distribution of soft wheat hybrids with amphiploids according to grain quality indicators at the optimal level of nitrogen nutrition]. *Zb. nauk. prats SHI-NATs NAIS [Collection of scientific works of SGI-NAS NAIS]*, 4 (44). 27–41 [in Ukrainian].

Lytvynenko, M. A. (2016). 100 rokiv rozvytku selektsiinykh prohram pshenytsi miakoi ozymoi [100 years of development of soft winter wheat breeding programs]. *Sortovyvchennia ta okhorona prav na sorty roslyn [Varietal research and protection of rights to plant varieties]*, 2 (31), 75–82 [in Ukrainian].

Lyfenko, S. P., Narhan, T. P., & Nakonechnyi, M. Iu. (2014). Introhresii v henom pshenytsi miakoi vid riznykh donoriv – problemnyi, ale perspektyvnyi napriam selektsii [Introgression into the common wheat genome from different donors is a problematic but promising direction of breeding]. *Selektsiia i nasinnystvo [Breeding and seed production]*, 105, 39–50. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2014.42043> [in Ukrainian].

Morhun, V. V., Dubrovna, O. V., & Morhun, B. V. (2016) Suchasni biotek-hnolohii otrymannia stiikykh do stresiv roslyn pshenytsi. [Modern biotechnologies for producing stress-resistant wheat plants]. *Fiziolohiia roslyn i henetyka [Physiology of plants and genetics]*, 48 (3), 196–214 [in Ukrainian].

Morhun, V. V., Rybalka, O. I., & Dubrovna, O. V. (2021). Henetychne polipshennia roslyn: osnovni naukovy dosiahnennia ta innovatsiini rozrobky. [Genetic improvement of plants: main scientific achievements and innovative developments]. *Aktualni problemy fiziolohii roslyn i henetyky: materialy Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii [Actual problems of plant physiology and genetics: materials of the International scientific conference]*. 246–248 [in Ukrainian].

Motsnyi, I., Narhan, T., Yeryniak, M., & Lyfenko S. (2017). Zastosuvannia pokhidnykh nepovnoho pshenychno-elimusnoho amfiploida (NPEA) elytricum fertile v selektsii pshenytsi miakoi ozymoi. [The use of derivatives of the incomplete wheat-elymus amphiploid (NPEA) elytricum fertile in the selection of soft winter wheat]. *Visnyk aharnoi nauky [Herald of Agrarian Science]*. 95, 8, 45–50. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk201708-08> [in Ukrainian].

Motsnyi, I. I., Lytvynenko, M. A., Molodchenkova, O. O., Sokolov, V. M., Fait, V. I., & Siechniak, V. Iu. (2019). Stvorennia vykhidnoho materialu pshenytsi miakoi ozymoi iz zastosuvanniam mizhvydovykh skhreshchuvan dlia selektsii na pidvyshcheni vmist bilka [Creation of raw material of soft winter wheat with the use of interspecies crosses for selection for increased protein content]. *Tsytolohiia i henetyka [Cytology and genetics]*, 53(2). 21–33. <https://doi.org/10.3103/S0095452719020075> [in Ukrainian].

Motsnyi, I. I., Narhan, T. P., Nakonechnyi, M. Yu., Lyfenko, S. P., Molodchenkova, O. O., & Mishchenko, L. T. (2021). Riznomanittia pokhidnykh viddalenoj hibrydyzatsii ozymoi pshenytsi za stiikistiu do khvorob ta inshymy chuzhynnymy oznakamy [Diversity of derivatives of distant hybridisation of winter wheat for disease resistance and other alien traits]. *Visnyk Odeskoho natsionalnoho universytetu. Biolohiia [Bulletin of Odessa National University. Biology]*, 26 (2 (49)), 51–72 [in Ukrainian].

Narhan, T. P., Motsnyi, I. I., Siechniak, V. Iu., & Lyfenko, S. P. (2016). Otsinka linii pshenytsi miakoi ozymoi (*Triticum aestivum* L.) vid viddalenoj hibrydyzatsii za hospodarsko korysnymy oznakamy [Evaluation of soft winter wheat (*Triticum aestivum* L.) lines from distant hybridization for economically useful traits]. *Zb. nauk. prats SHI-NTsNS [Coll. of science Proceedings of the SGI-NCNS]*, 28 (68). 15–32 [in Ukrainian].

Pokhylko, S. Iu., Shvartau, V. V., Pochynok, V. M., Mykhalska, L. M., Duhan, O. M., & Morhun B. V. (2017). Kompleksnyi analiz vmistu zahalnoho bilka v zerni miakoi pshenytsi, yaka mistyt hen Gpc-B1 vid *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides* [Comprehensive analysis of total protein content in soft wheat grains containing the Gpc-B1 gene from *Triticum turgidum* ssp. *Dicoccoides*]. *Visnyk UTHiS [Herald of UTHiS]*, 15(1), 52–57 [in Ukrainian].

Rybalka, O. I. (2011). Yakist zerna pshenytsi ta yii polipshennia [Wheat grain quality and its improvement]. Kyiv [in Ukrainian].

Solodushko, M., & Sereda I. (2014). Osoblyvosti vyroshchuvannia pshenytsi ozymoi v umovakh pivnichnoho Stepu Ukrainy. Rol nauky u pidvyshchenni tekhnolohichnoho rivnia i efektyvnosti APK Ukrainy [Peculiarities of growing winter wheat in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine. The role of science in increasing the technological level and efficiency of the agricultural industry of Ukraine]. *Materialy IV vseukr. nauk.-prakt. konf. [materials IV all-Ukrainian science and practice conf.]*. Ternopil, 15-16 travnia r. Ternopil: Krok [in Ukrainian].

Doneva, S., Daskalova, N., & Spetsov, P. (2018) Transfer of novel storage proteins from a synthetic hexaploid line into bread wheat. *Zemdirbyste-Agriculture*. 105 (2). 113–122. <https://doi.org/10.13080/z-a.2018.105.015> [in English].

Kjeldahl, J. (1983). Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern» (New method for the determination of nitrogen in organic substances). *Zeitschrift für analytische Chemie*. 22. 1. 366-383. <https://doi.org/10.1007/BF01338151> [in English].

Lukaszewski, A. (2000). Manipulation of the 1BL.1RS translocation in wheat by induced homoologous recombination. *Crop Sci*. 40. 1 216–225. <https://doi.org/10.2135/cropsci2000.401216x> [in English].

Mikulikova, D., Masar, S., Horvathova, V., & Kraic, J. (2009). Stability of quality traits in winter wheat cultivars. *Czech J. Food Sci*. 27 (6). 403–417 [in English].

Morel, M. Y., Dehlon, P., Autran, J.-C., Leygue, J. P., & LHelgouach, Ch. B. (2000). Effects of temperature, sonication time and power setting on size distribution and extractability of total wheat proteins as determined by size-exclusion high-performance liquid chromatography. *Cereal Chemistry*. 77(226). 20–25 [in English].

Mujeeb-Kazi, A., & Hettel, G. P. (1995). Utilizing wild grass biodiversity in wheat improvement: 15 years of wide cross research at CIMMYT. *Research Report*. 2. Mexico.D. F. CIMMYT [in English].

Mujeeb-Kazi, A., Deldago, R., Cortes, A., Cano, S., Rosas, V., & Sanchez J. (2004). Progress in exploiting *Aegilops* tauschii for wheat improvement. *Ann. Wheat Newsletter*. 50, 79–88 [in English].

Mujeeb-Kazi, A., Gul, A., Farooq, M., Rizwan, S., & Ahmad I. (2008). Rebirth of synthetic hexaploids with global implications for wheat improvement. *Aust. J. Agric. Res*. 59. 10. 391–398. <https://doi.org/10.1071/AR07226> [in English].

Spetsov, P., & Savov, M.A. (1992). Review on amphiploids in the Triticeae, obtained in Bulgaria during 1950–1990. *Wheat Inf. Serv*. 75. 1–6 [in English].

Szulc, P., Ambrozy-Deregowska, K., Mejza, I., Kobus-Cisowska, J., & Ligaj, M. (2020). The role of agrotechnical factors in shaping the protein yield of maize (*Zea mays* L.). *Sustainability*. 12. N. 6833.1–18. <https://doi.org/10.3390/su12176833> [in English].

Отримано: 03.05.2023

Прийнято: 16.05.2023