

<https://doi.org/10.15407/frg2025.02.117>

УДК 631.527:633.11

ПШЕНИЦЯ СПЕЛЬТА: БІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ГОСПОДАРСЬКЕ ЗНАЧЕННЯ

В.В. МОРГУН, О.М. РАДЧЕНКО, О.В. ДУБРОВНА

*Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17
e-mail: ales2009@ukr.net*

Triticum aestivum subsp. *spelta* (L.) Thell. є одним із найдавніших різновидів пшениці, що характеризується багатьма цінними властивостями, серед яких стійкість рослин до патогенів, краща адаптивність до несприятливих чинників довкілля, підвищений вміст білка в зерні, харчова цінність зерна. В останні роки популярність і використання спельти у світі, і Україні зокрема, невпинно зростає, що пов'язано із розвитком органічного землеробства, а також з потребою у високій якості продуктів харчування, яку забезпечує дана культура. Попри високі потенційні можливості спельти, її широкому поширенню перешкоджає низька врожайність і деякі морфологічні ознаки (висота рослин, плівчастість, ламкість колоса). Селекційно-генетичним поліпшенням можна усунути недоліки культури і при цьому зберегти її цінні властивості. З огляду на це, метою роботи було вивчити зразки колекції озимої пшениці спельти ІФРГ НАН України за морфологічними ознаками, продуктивністю та якісними показниками зерна, і виділити цінні генотипи для їх використання у селекційному процесі зі створення поліпшених сортів культури. За результатами проведених досліджень виділено селекційні лінії, які за окремими господарсько-цінними показниками є на рівні або перевищують сорт-стандарт озимої м'якої пшениці Наталка і перспективні для генетичного поліпшення спельти та м'якої пшениці. Показано, що лінії з меншою довжиною стебла порівняно зі стандартом Зоря України, з високою стійкістю до вилягання, відрізнялися вищою продуктивністю та придатністю до включення у схеми селекційного поліпшення цієї культури. Виділено генотипи, в яких показник «збір білка з гектара» переважає сорт-стандарт Зоря України, що зумовлено кращим поєднанням ознак вмісту білка в зерні та його врожайності. Виявлено генотипи, в яких показник твердозерності вірогідно перевищував цей показник сорту-стандарту м'якої пшениці Наталка, що може свідчити про потенційно вищу хлібопекарську якість їх борошна. Проведено кореляційний аналіз для виявлення залежності між проявом агрономічних ознак і показниками якості зерна. Виділено селекційні лінії, які заступовують доопрацювання і передачі в Державне сорто випробування.

Ключові слова: *Triticum aestivum* subsp. *spelta* (L.) Thell., колекція, морфологічні ознаки, продуктивність, якість зерна, м'яка пшениця.

Пшениця спельта (*Triticum aestivum* subsp. *spelta* (L.) Thell.) — різновид плівчастої пшениці, геном якої A^uA^uBBDD близько споріднений

Цитування: Моргун В.В., Радченко О.М., Дубровна О.В. Пшениця спельта: біологічні властивості та господарське значення. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. 57, № 2. С. 117–136. <https://doi.org/10.15407/frg2025.02.117>

з гексаплоїдною м'якою пшеницею (*T. aestivum* L.), має форми ярого та озимого типу розвитку. За складом геному та структурою хромосом окремих субгеномів спельта ідентична м'якій пшениці [1]. Низка дослідників виділяє пшеницю спельта як найдавніший гексаплоїд, від якого пішли інші види, в тому числі й м'яка пшениця [2]. Археологічні дані вказують на існування спельти близько 7 тисячоліття до н.е. в Іраку, що відповідає часу неоліту [3].

За походженням спельта поділяється на два підвиди: європейську та азіатську [4]. Європейська спельта (subsp. *spelta*) розділяється на дві еколого-морфологічні групи: західноєвропейську (німецька) та астурійську (іспанська, іберійська). У складі першої групи переважають озимі форми, у другій — ярі [5]. Відрізняються ці групи за окремими ознаками колоса. Західноєвропейські форми здебільшого представлені безостими різновидами, а астурійські — завжди остисті [6]. Азіатська спельта характеризується наявністю як озимих, так і ярих форм.

На сьогодні питання походження спельти остаточно не вирішене. Гіпотези азіатського походження дотримується низка авторів, які виділяють азіатську спельту як праматір м'якої пшениці [7]. Вважається, що азіатські підвиди даної культури, імовірно, отримані в результаті спонтанної гібридизації *Triticum turgidum* ssp. *dicoccon* і *Aegilops tauschii* ssp. *strangulata*, яка в подальшому дала початок гексаплоїдним видам голозерних, зокрема, *T. aestivum* L. [8]. Стосовно європейської спельти, вона могла мати інше походження. Дворак та ін. [9] підтримують думку, що європейська спельта була продуктом гібридизації тетраплоїдної пшениці (*T. dicoccon*, AABB) і *Ae. tauschii* (syn. *Ae. squarrosa*, DD). В даний час найвірогіднішою гіпотезою є поліфілетичне походження спельти. Вона передбачає, що азіатська спельта вперше виникла на каспійському узбережжі Ірану та стала родоначальником м'якої пшениці, а європейська є продуктом гібридизації м'якої гексаплоїдної та тетраплоїдної пшениці [10].

Спельта привертає увагу селекціонерів цінними властивостями, які відсутні у м'якої пшениці. До них відносять: стійкість рослин до патогенів, кращу адаптивність до несприятливих чинників довкілля, підвищений вміст білка в зерні (до 25 %), харчові якості зерна [8, 11–15]. Вона має такі біологічні переваги як високий коефіцієнт кушіння, невибагливість до умов вирощування, високу скловидність зерна, яке не осипається та не пошкоджується птахами і комахами, стійкість до перезволоження, рослини порівняно скоростиглі, холодо- та зимостійкі [16]. Спельта менше, ніж сучасні сорти пшениці, реагує на зміни клімату і погіршення родючості ґрунту [17].

Дослідження поживних характеристик зерна спельти свідчать, що вони кращі, ніж у сучасних сортів м'якої пшениці [18]. Спельта характеризується високим вмістом білка в зерні (переважає *T. aestivum* L. на 8,0–10,0 %, *T. sphaerococcum* Persiv. — на 3,0–8,0 %), наявністю поживних речовин і амінокислот, яких немає в продуктах тваринного походження [19–21]. Зерно спельти містить більше цінних ліпідів і мінералів, зокрема вищі рівні Fe, Zn, Cu, Mg і P, більше вітамінів та розчинної дієтичної клітковини [22]. Воно має у 8–10 разів вищий вміст резистентного крохмалю [23], більший вміст анти-

оксидантів, таких як фолати, алкілрезорциноли і фітостероли [24], переважає сучасну пшеницю за вмістом у зерні селену [25]. Також її зерно містить фітинову кислоту, яка хелатує мінерали, а отже, у ньому не лише високий вміст мінералів, а й вища їх засвоюваність [26]. У глютену спельти відсутні деякі гліадини, наявні у клейковині м'якої пшениці, що робить цей злак прийнятним для людей, які страждають від целиакії, та дає змогу використовувати її в дієтичному харчуванні [27]. Крім того, борошно із зерна спельти має унікальні смакові якості, а випечений хліб довго не черствіє [11].

В останні роки популярність і використання спельти у світі, й Україні зокрема, невпинно зростає, що пов'язано із розвитком органічного землеробства, а також з потребою у високій якості їжі, яку забезпечує ця культура. Із зерна спельти виробляють борошно, висівки, крупу, макарони, хліб, печиво, вафлі, каву, пиво, спирт, горілку [21, 22]. «Зелене зерно» — зерно спельти, зібране у восковій фазі та після збирання висушене і обмолочене, використовується в супах, котлетах, соусах, пудингах, добавках в йогуртах тощо [20]. Тому не випадково площі посіву спельти істотно зросли за останні роки [22].

Із категорії просто малопоширених ботанічних видів вона перейшла в розряд нішевих та на сьогодні за посівними площами посідає третє місце серед пшениць [13]. Її вирощують в Німеччині (100 тис. га), Австрії (13 тис. га), Швейцарії (5,5 тис. га) [28]. Зараз спельта здебільшого культивується в органічних господарствах Західної Європи — насамперед в німецькомовних країнах, а також у Бельгії, Італії, Франції, Чехії, Польщі, Угорщині, Словаччині, де переважають озимі форми. Також вона вирощується в гірських районах Іспанії, Північного Кавказу, Грузії, Індії, Ефіопії, Марокко [28]. Всього в Загальний каталог сортів видів сільськогосподарських рослин (ССА) Європейського союзу занесено 67 сортів спельти [29]. Натепер у виробництві використовується невелика кількість сортів спельти, а існуюче генетичне різноманіття цієї культури обмежене місцевими формами [8, 30, 31].

Збільшились посіви спельти й в Україні, де вона вирощується переважно на експорт. Її вперше завезли із Швейцарії понад 25 років тому молоді фермери і висіяли у Вінницькій та Тернопільській областях. Зараз цю культуру також висівають в господарствах Житомирської й Чернігівської областей на площах у декілька тисяч гектарів. Потужних виробників зерна спельти в Україні не так багато — займаються цим питанням «Сварог Груп» на базі ТОВ «Лотівка Органік» (Хмельницька обл.), «Grain Alliance» (Київська обл.), чималі площі під культурою має LNZ GROUP (Черкаська обл.). У господарстві ТОВ «Жива Нива» Житомирської обл. спельту вирощують на площах до 840 га. У Державному реєстрі сортів рослин, придатних для поширення в Україні, станом на 19 січня 2025 р. зареєстровано 8 сортів спельти: Зоря України, Європа, Аттергауер Дінкель, Білбері, Вишиванка білоцерківська, Евріка, Мв Мартонгольд, Парацельсус. Державна служба статистики не збирає інформацію стосовно вирощування пшениці спельти, додаючи до даних м'якої пшениці. Загалом площі вирощування даної культури в Україні можна оцінити до 10 тис. га сумарно по всіх регіонах.

Спельта має значний потенціал як генетичний ресурс для поліпшення безлічі агрономічних ознак у м'якої пшениці — від урожайності та її компонентів до стійкості до хвороб та абіотичних стресів [32—34]. Генетика спельти вивчається починаючи з другої половини ХІХ ст., оскільки дана культура використовується як джерело спадкової мінливості низки господарсько цінних ознак [21, 35]. Встановлено, що декілька важливих генетичних факторів, відповідальних за диференціацію та адаптацію спельти, могли бути успадковані безпосередньо від тетраплоїдних попередників через подію гібридизації, наприклад, гени *TaQ-5A*, *TaCOP1-6A*, *TaHY5*-подібний, *TaPHYA-4B i 5A-CentANG-H2*. Ці гени або геномні блоки лежать в основі деяких ключових морфологічних і таксономічних відмінностей між спельтою та м'якою пшеницею, включно чіпкі луски, обмолот зерна та пізніше цвітіння. Вони також забезпечують специфічну стійкість до стресів та хвороб, що сприяє адаптації спельти до суворих кліматичних умов [31].

Ключові морфологічні характеристики спельти, такі як форма колоса, плівчастість зерна і ламкість колосового стрижня контролюються рецесивним алелем гена *Q* з плеiotропним ефектом, який належить до факторів транскрипції, подібних до *ARETALA2 (AR2)*, і розташований на довгому плечі хромосоми 5A [36, 37]. Крім того, на характер обмолоту зерна впливає тип колосової луски, яка у спельти контролюється домінантним алелем гена *Tg* в гомозиготному стані, розташованому на короткому плечі хромосоми 2 кожного субгенома пшениці [28]. Проте в даний час мало відомо про геномне розмаїття та цінні гени спельти, які могли б бути використані у сучасній селекції пшениці.

Попри високі потенційні можливості, спельта поки не набула належного використання у виробництві. Значному поширенню перешкоджає низька врожайність і низка морфологічних характеристик, негативних у її виробництві, а саме: важкий обмолот зерна внаслідок щільного охоплення його міцними лусками (плівчастість) та ламкість колосового стрижня [8, 31]. До негативних ознак також належить досить довгий вегетаційний період, пізніше цвітіння порівняно з м'якою пшеницею, слабка посухостійкість, сприйнятливість до грибних хвороб [12, 31, 38]. Загалом, за урожайністю й придатністю до сучасних технологій вирощування і переробки спельта не може конкурувати із сортами м'якої та твердої пшениць. Водночас, саме шляхом генетичного поліпшення, збагаченням генофонду та підвищенням ефективності її селекції можна усунути такі недоліки й при цьому зберегти цінні властивості культури.

Головним методом поліпшення спельти вважається міжвидова гібридизація з м'якою пшеницею, внаслідок якої можна отримати нові гібридні форми з покращеними кількісними та якісними показниками. Для створення генетичної різноманітності у різних установах генетично-селекційного профілю формуються спеціалізовані колекції для ефективнішого управління генетичними ресурсами. Ці колекції уможливають не лише розширення генетичної різноманітності селекційного матеріалу, а й після всебічної оцінки зразків добір компонентів для схрещування з комплексом господарсько ко-

рисних ознак. У світі, та Україні зокрема, створюються генетичні колекції зразків *T. spelta*, які вивчаються за основними морфологічними, молекулярно-генетичними, фізіолого-біохімічними ознаками, елементами структури продуктивності та хлібопекарськими якостями зерна [1, 5, 8, 12, 14, 28].

Роботи з генетичного поліпшення спельти проводяться також в Інституті фізіології рослин і генетики НАН України (ІФРГ НАН України), де створено колекцію ярих та озимих форм цієї культури, яку збирали понад 15 років із світових колекцій та виробничих посівів. Колекція представлена зразками різного географічного походження. Прикметно, що для використання спельти як донора для поліпшення пшениці або створення нових сортів цієї культури необхідно оцінити морфометричні параметри рослин, проаналізувати продуктивність та якість зерна в конкретних умовах вирощування, що є першими і важливими кроками до реалізації селекційних програм із поліпшення хлібних злаків.

З огляду на це, метою наших досліджень було вивчити зразки колекції озимої пшениці спельти ІФРГ НАН України за морфологічними ознаками, продуктивністю та якісними показниками зерна і виділити цінні генотипи для їх використання у селекційному процесі зі створення поліпшених сортів цієї культури.

Методика

Досліджували 29 колекційних зразків і 6 селекційно покращених ліній озимої спельти з колекції ІФРГ НАН України. Отримані лінії звільняли від механічного засмічення та доводили до гомозиготного стану. Рослини вирощували на полях Дослідного сільськогосподарського виробництва ІФРГ НАН України (с-ще Глеваха, Фастівський р-н, Київської обл.). Поля розміщені на Київському плато в межах Придніпровської височини та Поліської терасової рівнини. Ґрунти під посівами світло-сірі, опідзолені, легкосуглинкові. Система основного і передпосівного обробітку ґрунту загальноприйнята для Лісостепової зони України. Дослідження проводилися упродовж 2019–2024 рр. Кліматичні умови в цей період характеризувалися контрастністю як за температурним режимом, так і за рівнем вологозабезпечення. Найсприятливішими для росту і розвитку рослин спельти були 2021 та 2022 рр. — активна вегетація рослин відбувалась переважно за умов достатнього вологозабезпечення (гідротермічний коефіцієнт Селянінова становив 1,3–1,5). В інші роки рівень вологозабезпечення у період формування репродуктивних органів був недостатній (гідротермічний коефіцієнт Селянінова становив менше 1,0).

У досліджах використовували систематичний метод розміщення ділянок з обліковою площею 10 м². Номери розташовували блоками з густотою рослин 400 тис. шт./га. Повторність дослідів триразова. Біометричні показники визначали на 25 рослинах, які відбирали з кожної ділянки у трьох несуміжних повтореннях.

Зразки оцінювали за низкою господарсько цінних ознак (низькорослість, стійкість до вилягання, урожайність, показники якості зерна) та порівнювали із стандартом. Стандартом слугував сорт пше-

ниці спельти озимої Зоря України та районований сорт пшениці озимої м'якої Наталка — надсильний за якістю. Для детального вивчення зразків за комплексом ознак якості розраховували додатковий критерій білковості — «збір білка з гектара» = врожайність (ц/га) × вміст білка (%).

Показники якості зерна (вміст білка, клейковини, твердозерність) визначали методом інфрачервоної спектроскопії на приладі Inframatic 8600 (Pertten, Швеція). Вимірювання здійснювали за температури 25 °С. Для аналізу використовували зразки цільного борошна масою 40 г, які отримували розмелюванням на лабораторному млині Pertten LM 3100 (Pertten, Швеція). Визначення показника седиментації борошна проводили за методом SDS-30 на автоматичному приладі з програмним управлінням, розробленому в Селекційно-генетичному інституті—Національному центрі насіннєзнавства та сортовивчення НААН України [39].

Статистичний аналіз отриманих даних проведено за допомогою програмного забезпечення ANOVA та критерію вірогідних відмінностей Тьюкі-тесту за середніми значеннями. Результати представлені у вигляді середніх значень та стандартної похибки ($m \pm SE$). Істотність різниці між показниками оцінювали на рівні $p \leq 0,05$. Для виявлення залежності між проявом агрономічних ознак та показниками якості зерна проведено кореляційний аналіз [40].

Результати та обговорення

З метою виявлення перспективних генотипів для подальшого залучення у селекційний процес проведено комплексний аналіз колекційних зразків спельти озимої за морфологічними та господарсько цінними ознаками. За морфологією досліджені рослини спельти є високорослими (124—163 см), з довгим колосом (12—19 см) (табл. 1) з восковим нальотом, безостим, при дозріванні ламким, зернівки вузькі, довгасті, щільно охоплені лусками (рис. 1). Вони значно вищі (на 20—60 см) порівняно з рослинами м'якої пшениці сорту Наталка, проте за цим показником були на рівні сорту-стандарту спельти Зоря України або нижчими на 10—20 см. У нашому дослідженні найвищим був зразок УК 8С/15 (163,4 см), а найнижчим — УК 75С/17 (124,4 см) (див. табл. 1).

Подібні результати були отримані й у працях інших дослідників [38, 41], де спельта була значно вищою за вивчені сорти м'якої пшениці. Нині в генетичній плазмі представників роду *Triticum* L. ідентифіковано понад 20 специфічних генів (*Rht1—Rht20*), які забез-

ТАБЛИЦЯ 1. Морфологічні показники генотипів спельти (середнє за 2019—2024 рр.) ($m \pm SE$)

Зразок	Висота рослин, см	Довжина головного колоса, см	Стійкість до вилягання, бал
Колекційні зразки спельти			
УК 2С/15	151,2±10,2	19,5±1,2*	2
УК 3С/15	154,8±11,2	18,0±1,5*	2
УК 4С/15	150,0±10,7	15,8±1,4	3

ПШЕНИЦЯ СПЕЛЬТА

Закінчення табл. 1

Зразок	Висота рослин, см	Довжина головного колоса, см	Стійкість до вилягання, бал
УК 5С/15	129,4±10,4	16,1±1,6	4
УК 7С/15	130,4±10,3	15,6±1,3	4
УК 8С/15	163,4±10,6	15,4±1,5	2
УК 9С/15	127,6±10,5	14,0±1,8	4
УК 10С/15	144,0±10,8	11,9±1,6	4
УК 11С/15	140,5±10,3	12,4±1,4	3
УК 13С/15	141,0±10,7	14,1±1,7	4
УК 19С/15	160,1±11,2	17,5±1,2	3
УК 62С/17	153,6±11,0	12,6±1,5	3
УК 63С/17	142,4±10,4	13,3±1,5	3
УК 64С/17	142,3±9,8	13,1±1,5	5
УК 65С/17	151,0±10,2	12,4±1,9	3
УК 66С/17	138,4±9,4	14,0±1,8	4
УК 67С/17	155,1±10,2	12,5±1,7	3
УК 68С/17	152,8±10,7	13,3±1,2	3
УК 69С/17	136,5±9,6	13,5±1,6	3
УК 70С/17	130,5±10,1	15,1±1,3	3
УК 71С/17	125,1±8,9	14,7±1,4	5
УК 72С/17	137,0±10,3	14,0±1,6	5
УК 73С/17	128,6±9,5	15,3±1,3	5
УК 74С/17	133,4±10,9	13,3±1,2	5
УК 75С/17	124,4±9,0	15,7±1,3	5
УК 76С/17	140,1±10,1	13,0±1,6	4
УК 77С/17	152,0±10,2	14,2±1,8	4
УК 79С/17	129,5±9,5	13,0±1,9	5
УК 82С/17	139,2±10,5	13,2±1,8	5
Селекційно покращені лінії			
УК 3901С/22	124,0±9,5	12,9±1,9	5
УК 3910С/22	130,0±9,8	13,1±1,5	4
УК 3980С/23	123,0±8,1*	12,8±1,3	5
УК 3984С/23	129,4±10,3	12,9±1,6	4
УК 4060С/20	125,2±10,2	13,0±1,4	5
УК 3890С/22	129,2±10,5	13,4±1,6	4
Сорт-стандарт спельти Зоря України	147,2±8,5	14,5±1,2	3
Сорт-стандарт м'якої пшениці Наталка	103,4±8,7	8,8±1,2	4

*Різниця порівняно з сортом-стандартом Зоря України вірогідна за $p \leq 0,05$.



Рис. 1. Рослини, колос і зерно *Triticum spelta* L.

печують значне різноманіття пшениці за висотою рослин [42], та встановлено вплив на цю ознаку великої кількості генів-модифікаторів [43]. Спельта має багато небажаних генів, зокрема алелі *Rht-B1a*, *Rht-D1a*, які контролюють формування високих стебел [31]. Для зменшення висоти рослин *T. spelta* і створення її короткостеблових форм проводять цілеспрямовану гібридизацію спельти із низькорослими сортами м'якої озимої пшениці, що несуть домінуючі або рецесивні гени карликовості [31]. Внаслідок схрещування утворюється потомство з широким діапазоном мінливості за висотою рослин, що зумовлено різними типами взаємодії генів. Встановлено, що лінії, які були селекційно поліпшені, мали висоту рослин 123–130 см (див. табл. 1). Вони були вищими порівняно із сортом Наталка, в середньому на 23,4 см, проте нижчими (на 20,4 см) порівняно із сортом спельти Зоря України. Виділені лінії УК 3901С/22 і УК 3980С/23, які мали висоту 123 см і 124 см, відповідно, і вірогідно не відрізнялися від м'якої пшениці за цим показником.

З висотою рослин пов'язана ще одна негативна ознака спельти — її схильність до вилягання, що й призводить до зниження врожайності та якості продукції [44]. Тому ми проаналізували за п'ятибальною шкалою стійкість до вилягання у різних за висотою рослин спельти. У досліджених генотипів цей показник був у межах 2–5 балів. Показано, що високостеблові рослини характеризуються стійкістю до вилягання на рівні 2–3 балів, тоді як у рослин з меншою висотою стебла вона підвищувалася до 4–5 балів. Високу стійкість до вилягання (5 балів) перед збиранням було виявлено у 10 генотипів (див. табл. 1), що дає змогу за наявності інших цінних ознак використовувати їх у селекційних програмах. Лінії, які пройшли селекційне удосконалення та мають коротше стебло, виявилися найстійкішими до вилягання. Виділено лінії УК 3901С/22 і УК 3980С/23 з меншою довжиною стебла порівняно із стандартом Зоря України, з високою стійкістю до вилягання (5 балів), які переважали за цим показником обидва стандарти.

Довжина головного колоса у проаналізованих зразків спельти коливалася від 11,9 до 19,5 см. Найдовший колос виявився у зразка

УК 2С/15, а найкоротший — в УК 10С/15. Всі генотипи спельти за довжиною колоса переважали сорт-стандарт м'якої пшениці Наталка, а 11 зразків перевищували за цим показником сорт спельти Зоря України. Виявлена тенденція до зменшення довжини колоса у селекційно поліпшених ліній, що може бути пов'язане із збільшенням його щільності. На щільність та довжину колоса впливає ген *Q*, який плейотропно контролює ці ознаки [45], ген *C*, рецесивний стан якого викликає зменшення довжини колоса та гени подовження *L1/11*, *L2/12* [8].

Показано, що врожайність зерна гексаплоїдних пшениць на 20 % залежить від маси 1000 зерен [46]. У деяких країнах, таких як Індія та Китай, цей показник є основним для прийняття того чи іншого сорту для вирощування. Наприклад, у кліматичних умовах Китаю при збільшенні маси тисячі зерен на 1 г можна досягти збільшення врожайності на 140–160 кг/га. Ми проаналізували цей показник у колекційних зразків спельти та виявили значне варіювання за масою 1000 зерен (від 39,8 до 57,6 г) (табл. 2). Вірогідно вищу масу тисячі зерен порівняно із м'якою пшеницею зафіксовано лише у зразка УК 7С/15 (57,6 г). Зазначимо, що у ліній, які пройшли селекційне удосконалення та мають коротше стебло, спостерігається певна тенденція до зростання цього показника, хоча вірогідних відмінностей від м'якої пшениці не виявлено.

ТАБЛИЦЯ 2. Маса 1000 зерен та врожайність генотипів спельти (середнє за 2019–2024 рр.) ($m \pm SE$)

Зразок	Маса 1000 зерен, г	Урожайність ц/га		
		Середнє за 2019–2024 рр.	Відхилення від сорту-стандарту	
			спельти	м'якої пшениці
Колекційні зразки спельти				
УК 2С/15	52,0±3,9	53,7±3,5	0,1	–10,4
УК 3С/15	54,7±4,5	36,1±3,2	–13,1	–26,0
УК 4С/15	52,5±4,3	51,4±3,7	–2,2	–12,7
УК 5С/15	45,5±4,6	60,6±4,0	7,0	–3,5
УК 7С/15	57,6±2,8*	44,0±3,9	–5,2	–18,1
УК 8С/15	54,6±4,0	42,3±3,5	–6,9	–19,8
УК 9С/15	52,3±3,6	56,9±3,8	3,3	–7,2
УК 10С/15	48,3±4,2	55,3±3,4	1,7	–8,8
УК 11С/15	46,3±3,5	40,3±3,3	–8,9	–21,8
УК 13С/15	43,3±4,1	52,0±3,9	2,8	–10,1
УК 19С/15	50,3±4,0	49,2±2,7	–4,4	–14,9
УК 62С/17	49,1±3,9	55,7±3,7	2,1	–8,4
УК 63С/17	50,7±3,9	42,5±2,9	–6,7	–19,6
УК 64С/17	51,7±4,3	49,5±3,6	–4,1	–14,6
УК 65С/17	52,1±2,4	49,5±3,4	–4,1	–14,6
УК 66С/17	53,1±4,2	42,5±3,8	–6,7	–19,6
УК 67С/17	42,6±2,5	42,5±2,9	–6,7	–19,6

Закінчення табл. 2

Зразок	Маса 1000 зерен, г	Урожайність ц/га		
		Середнє за 2019—2024 рр.	Відхилення від сорту-стандарту	
			спельти	м'якої пшениці
УК 68С/17	51,6±3,4	47,3±3,0	—1,9	—14,8
УК 69С/17	54,0±3,3	49,0±3,3	—0,2	—13,1
УК70С/17	48,1±3,4	47,6±3,1	—6,0	—16,5
УК 71С/17	45,6±4,3	71,5±4,0	17,9	7,4
УК 72С/17	51,0±2,4	65,3±3,6	11,7	1,2
УК 73С/17	40,2±4,1	69,5±4,1	20,3	7,4
УК 74С/17	47,6±3,9	66,1±3,1	12,5	2,0
УК 75С/17	44,2±3,2	66,6±3,6	13,0	2,5
УК 76С/17	44,4±3,1	68,9±3,4	15,3	4,8
УК 77С/17	39,8±3,5	63,5±3,5	9,9	—0,6
УК 79С/17	50,7±3,8	73,1±4,0	19,5	9,0
УК 82С/17	43,1±4,2	55,0±3,9	1,4	—9,1
Селекційно покращені лінії				
УК 3901С/22	54,9±4,4	66,4±4,1**	12,8	2,3
УК 3910С/22	53,1±4,5	65,2±4,0**	11,6	1,1
УК 3980С/23	50,7±3,9	71,2±3,9**	17,6	7,1
УК 3984С/23	53,7±4,9	65,1±4,1**	11,5	1,0
УК 4060С/20	52,1±2,4	74,8±4,0**	21,2	10,7
УК 3890С/22	50,3±4,0	71,3±4,2**	17,7	7,2
Сорт-стандарт спельти Зоря України	49,2±3,0	53,6±4,0**	—	—
Сорт-стандарт м'якої пшениці Наталка	46,3±3,6*	64,1±3,9	—	—

*Різниця порівняно із сортом-стандартом Наталка вірогідна за $p \leq 0,05$; **різниця порівняно з сортом-стандартом Зоря України вірогідна за $p \leq 0,05$.

Відомо, що врожайність спельти на ґрунтах з низьким вмістом азоту або в умовах стресу вища, ніж у м'якої пшениці, проте за інтенсивного вирощування значно поступається їй [47]. Так, в Ізраїлі середня врожайність спельти становить 3—4 т/га [35], у Німеччині 3—5 т/га [26], тоді як середня врожайність м'якої пшениці в цих країнах сягає 7—8 т/га. Згідно з даними літератури, м'яка пшениця має вищу продуктивність (на 30 %), ніж спельта [38].

Врожайність генотипів спельти у конкурсному випробуванні з 2019 по 2024 рр. варіювала від 36,1 до 74,8 ц/га (див. табл. 2). П'ятнадцять з досліджених генотипів показали більшу врожайність, ніж у сорту Зоря України. Лінії, які пройшли селекційне поліпшення, вірогідно переважали за цим показником сорт-стандарт спельти. Саме серед них виділено зразок УК 4060С/20 з максимальним показником врожайності — 74,8 ц/га. Порівняно з м'якою пшеницею більшість генотипів спельти поступалися їй за продуктивністю. Водночас вияв-

лено, що врожайність деяких колекційних зразків (УК 71С/17, УК 72С/17, УК 73С/17, УК 74С/17, УК 75С/17, УК 76С/17, УК 79С/17) та селекційних ліній (УК 3901С/22, УК 3980С/23, УК 4060С/20, УК 3890С/22) була на рівні сорту-стандарту пшениці м'якої Наталка. Встановлено, що зразки УК 71С/17 (71,5 ц/га), УК 79С/17 (73,1 ц/га) та УК 4060С/20 (74,8 ц/га) з меншою довжиною стебла порівняно із сортом-стандартом Зоря України та з високою стійкістю до вилягання мали найбільшу продуктивність. Ці генотипи є перспективним вихідним матеріалом для подальшої селекції та генетичного вдосконалення м'якої пшениці та спельти.

Якість зерна й хлібопекарські властивості борошна, серед яких провідну роль відіграють білки зерна — найважливіші показники для хлібних злаків [22]. Так, вміст білка тісно корелює з вмістом клейковини, силою борошна та загальною оцінкою хліба.

Відомо, що спельта має підвищений вміст білка, що підтвердили також проведені нами дослідження (табл. 3). У проаналізованих колекційних зразків спельти озимої вміст білка в зерні коливався у межах 14,4—18,7 %, а у селекційних ліній був на рівні 15,2—16,7 %. Найбільший вміст білка виявлено у генотипів УК 3С/15, УК 4С/15, УК 7С/15, УК 8С/15, УК 19С/15, в яких цей показник перевищував 18 %, проте вірогідно не відрізнявся від показника у сорту Зоря України. Разом з тим, більшість проаналізованих ліній спельти вірогідно перевищували за вмістом білка сорт м'якої пшениці Наталка (14,9 %). Важливо зазначити, що селекційні лінії з меншою довжиною стебла порівняно із сортом-стандартом Зоря України мали найвищу продуктивність (в середньому 69,0 ц/га), але її збільшення призводило до зменшення вмісту білка (в середньому до 16,2 %).

ТАБЛИЦЯ 3. Показники якості зерна генотипів спельти (середнє за 2019—2024 рр.)

Зразок	Вміст білка, %			Збір білка з гектара, кг/га	Вміст клейковини, %	Твердо-зерність, од. приладу	SDS-30, мл
	Середнє за 2019—2024 рр.	Відхилення від сорту-стандарту					
		спельти	м'якої пшениці				
Колекційні зразки спельти							
УК 2С/15	17,6±0,7*	0	2,7	945,1	37,9	9	27
УК 3С/15	18,7±0,8*	0,8	4,7	675,1	40,5	4	15
УК 4С/15	18,0±1,0*	0,4	3,1	925,2	36,3	6	27
УК 5С/15	15,6±1,0	-2,0	0,7	945,4	34,4	-2	32
УК 7С/15	18,4±0,9*	0,5	4,4	809,6	39,4	-1	12
УК 8С/15	18,6±0,8*	0,7	4,6	786,8	40,2	7	15
УК 9С/15	16,8±1,0*	-0,8	1,9	955,9	36,4	-1	59*
УК 10С/15	17,4±1,0*	-0,2	2,5	962,2	37,7	-2	33
УК 11С/15	16,9±0,5*	-1,0	2,9	681,1	36,3	-7	18
УК 13С/15	17,2±0,9*	-0,7	3,2	894,4	37,0	0	37
УК 19С/15	18,1±0,8*	0,5	3,2	890,5	39,0	3	20
УК 62С/17	15,2±0,6	-2,4	0,3	846,6	32,3	33*	26

Закінчення табл. 3

Зразок	Вміст білка, %			Збір білка з гектара, кг/га	Вміст клейковини, %	Твердо-зерність, од. приладу	SDS-30, мл
	Середнє за 2019—2024 рр.	Відхилення від сорту-стандарту					
		спельти	м'якої пшениці				
УК 63С/17	15,7±0,4	−2,2	1,7	667,2	33,6	−15	26
УК 64С/17	17,9±0,3*	0,3	3,0	886,1	39,0	2	22
УК 65С/17	18,7±0,7*	1,1	3,8	925,6	41,5	−7	13
УК 66С/17	16,1±0,5	−1,8	2,1	684,2	34,6	−11	34
УК 67С/17	17,8±0,9*	−0,1	3,8	756,5	38,4	8	28
УК 68С/17	16,8±1,0*	−1,1	2,8	794,6	36,1	−20	25
УК 69С/17	16,3±0,4	−1,6	2,3	798,7	34,9	−1	32
УК 70С/17	16,1±0,6	−1,5	1,2	766,4	33,3	54*	54*
УК 71С/17	16,6±0,5*	−1,0	1,7	1186,9	34,3	−10	49*
УК 72С/17	16,4±0,8	−1,2	1,5	1070,9	35,4	10	30
УК 73С/17	14,4±0,5	−3,5	0,4	1000,8	30,7	−19	28
УК 74С/17	16,3±0,8	−1,3	1,4	1077,4	34,6	−4	57*
УК 75С/17	15,6±0,9	−2,0	0,7	1039,0	35,4	6	45*
УК 76С/17	15,2±0,4	−2,4	0,3	1047,3	32,5	−24	36
УК 77С/17	15,8±0,7	−1,8	0,9	1003,3	32,1	−12	36
УК 79С/17	16,1±0,9	−1,5	1,2	1176,9	33,2	3	25
УК 82С/17	17,3±1,0*	−0,3	2,4	951,5	38,1	−23	53
Селекційно покращені лінії							
УК 3901С/22	16,7±0,5*	−0,9	1,8	1108,9	35,6	−17	57*
УК 3910С/22	16,7±0,8*	−0,9	1,8	1088,8	35,4	36*	54*
УК 3980С/23	16,3±0,9	−1,3	1,4	1160,6	33,5	10	49*
УК 3984С/23	16,6±0,7*	−1,0	1,7	1080,7	34,4	0	34
УК 4060С/20	15,2±0,6	−2,4	0,3	1137,0	31,0	33*	33
УК 3890С/22	15,9±0,5	−1,7	1,0	1133,7	33,2	−7	32
Сорт-стандарт спельти Зоря України	17,6±0,8	—	—	943,4	38,2	8	22*
Сорт-стандарт м'якої пшениці Наталка	14,9±0,7*	—	—	955,1	28,4	21*	80
НІР _{0,05}	—	—	—	75,0	2,9	3,6	3,9

*Різниця порівняно з сортом-стандартом Наталка вірогідна за $p \leq 0,05$.

Також ми визначили показник збору білка з гектара посіву (див. табл. 3), який є добутком вмісту білка в зерні на урожайність зерна. Найвищим цей показник був у зразків УК 71С/17 та УК 79С/17 завдяки найкращому поєднанню показника вмісту білка в зерні та врожайності (рис. 2). Всі селекційні лінії за цим показником перевищу-

ПШЕНИЦЯ СПЕЛЬТА

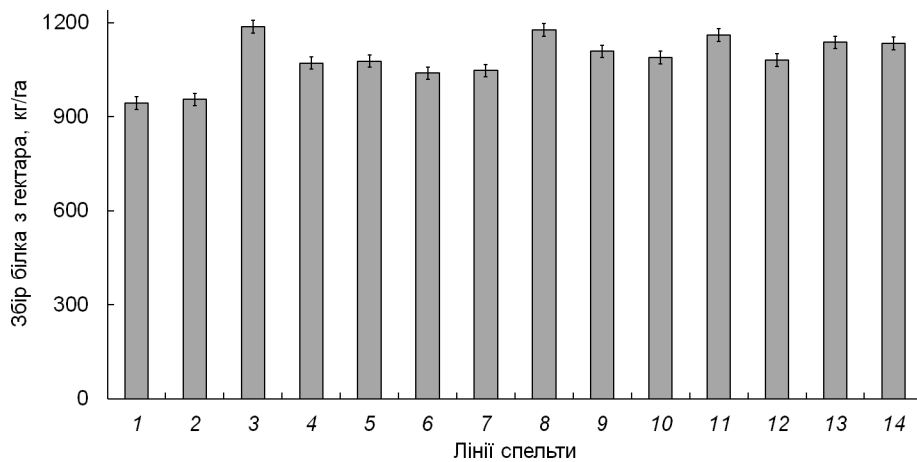


Рис. 2. Генотипи, які мали найвищий збір білка з гектара:

1 — Зоря України (стандарт), 2 — Наталка (стандарт), 3 — УК 71С/17, 4 — УК 72С/17, 5 — УК 74С/17, 6 — УК 75С/17, 7 — УК 76С/17, 8 — УК 79С/17, 9 — УК 3901С/22, 10 — УК 3910С/22, 11 — УК 3980С/23, 12 — УК 3984С/23, 13 — УК 4060С/20, 14 — УК 3890С/22

вали як сорт-стандарт спельти Зоря України, так і сорт-стандарт м'якої пшениці Наталка.

Вагомою характеристикою зерна пшениці є клейковина, адже її кількість та якість найбільшою мірою визначають хлібопекарські властивості сорту. Вміст клейковини в зерні різних генотипів спельти коливався від 30,5 % до 40,5 % і був вищим, ніж у сорту м'якої пшениці Наталка (28,4 %). П'ять колекційних зразків (УК 3С/15, УК 8С/15, УК 19С/15, УК 64С/17, УК 65С/17) мали вміст клейковини вищий, ніж у сорту-стандарту Зоря України (38,2 %). Серед селекційних ліній всі зразки перевищували м'яку пшеницю за цим показником.

Однією з основних характеристик, що визначає якість зерна пшениці, є текстура ендосперму зернівки. У короткому плечі хромосоми 5DS розташований локус *Ha* (*Hardness*), який детермінує твердість зерна пшениці, з двома алелями — домінантним *Ha*, що контролює м'який ендосперм, і рецесивним *ha*, що робить ендосперм твердим. Клас м'якозерної пшениці містить алель *Ha* дикого типу, а клас твердозерної пшениці несе альтернативний алель *ha* [48]. У світовій практиці пшеницю класифікують за ознакою твердості зерна на екстрам'якозерну, м'якозерну, середньом'якозерну, твердозерну, середньотвердозерну, екстратвердозерну. Твердозерна пшениця цінна для хлібопекарської промисловості, тому що під час помелу утворює велику кількість пошкоджених гранул крохмалю, що приводить до більшого поглинання та утримання води, забезпечуючи ефективніший підйом тіста. Борошно з неї використовують переважно для виготовлення різних сортів хліба, а борошно з м'якозерної пшениці — в кондитерській галузі для виготовлення бісквітних виробів [22]. Борошно екстрам'якозерних сортів має від'ємне значення за шкалою Inframatic 8600, звичайних м'якозерних сортів має позитивне значення (5—25 од.), а борошно твердозерної пшениці перевищує 25 позитивних одиниць.

Відомо, що твердозерність спельти коливається у широких межах — від негативних значень до позитивних, які можуть перевершувати +50 [49], що було показано і в наших дослідженнях. У досліджених нами генотипів спельти показник твердозерності широко варіював від позитивного значення (+54) до негативного (–24). Загалом, генотипи спельти поступалися м'якій пшениці за цією ознакою (див. табл. 3) — мали або низький позитивний, або негативний показник твердозерності. Водночас, виділено колекційні зразки (УК 62С/17, УК 70С/17) та селекційні лінії (УК 3910С/22, УК 4060С/20), в яких цей показник знаходився на рівні +33...+54 од., що вірогідно перевищувало показники як сорту Зоря України, так і сорту Наталка, і може свідчити про потенційно вищу хлібопекарську якість їх борошна.

Показник седиментації — важлива характеристика хлібопекарської якості борошна, який має високу корелятивну залежність із такими характеристиками як «сила» борошна (W) та індекс еластичності тіста (Ie). Цей показник у проаналізованих генотипів спельти варіював від 12 до 59 мл (див. табл. 3) та значно поступався сорту-стандарту м'якої пшениці Наталка (80 мл). Виділено генотипи (УК 9С/15, УК 70С/17, УК 74С/17, УК 82С/17, УК 3901С/22, УК 3910С/22), які перевершували сорт-стандарт Зоря України (22 мл) за цією характеристикою.

Проведено кореляційний аналіз для виявлення залежності між проявом агрономічних ознак та показниками якості зерна (табл. 4). За даними кореляційного аналізу встановлено, що врожайність істотно негативно корелювала з вмістом білка ($r = -0,61$) (рис. 3, а), проте позитивно корелювала з показником седиментації ($r = 0,49$) (рис. 3, б). Водночас, встановлено істотну позитивну кореляцію маси 1000 зерен з вмістом білка ($r = 0,44$) (рис. 3, в), а її кореляція з врожайністю та SDS-30 була неістотною.

Негативну залежність вмісту білка від урожайності відзначає переважна більшість дослідників [51], хоча значення коефіцієнтів кореляції варіюють в дуже широких межах від негативної ($r = -0,12...-0,91$) до слабкої позитивної ($r = 0,16...0,27$). Існує думка, що у контрольованих умовах вміст білка в зерні можна підвищити певною мірою без зміни врожайності, і лише значне його підвищення супроводжується зниженням врожайності. З літератури відомо, що кореляція між вмістом білка і масою 1000 зерен, за звичай, негативна і за

ТАБЛИЦЯ 4. Коефіцієнти кореляції між різними ознаками генотипів спельти

Пари ознак	Коефіцієнт кореляції
Врожайність — вміст білка	–0,61*
Вміст білка — маса 1000 зерен	0,44*
Маса 1000 зерен — SDS-30	–0,26**
SDS-30 — врожайність	0,49**
Маса 1000 зерен — врожайність	–0,26**

*Вірогідно за $p < 0,01$; **вірогідно за $p < 0,05$.

ПШЕНИЦЯ СПЕЛЬТА

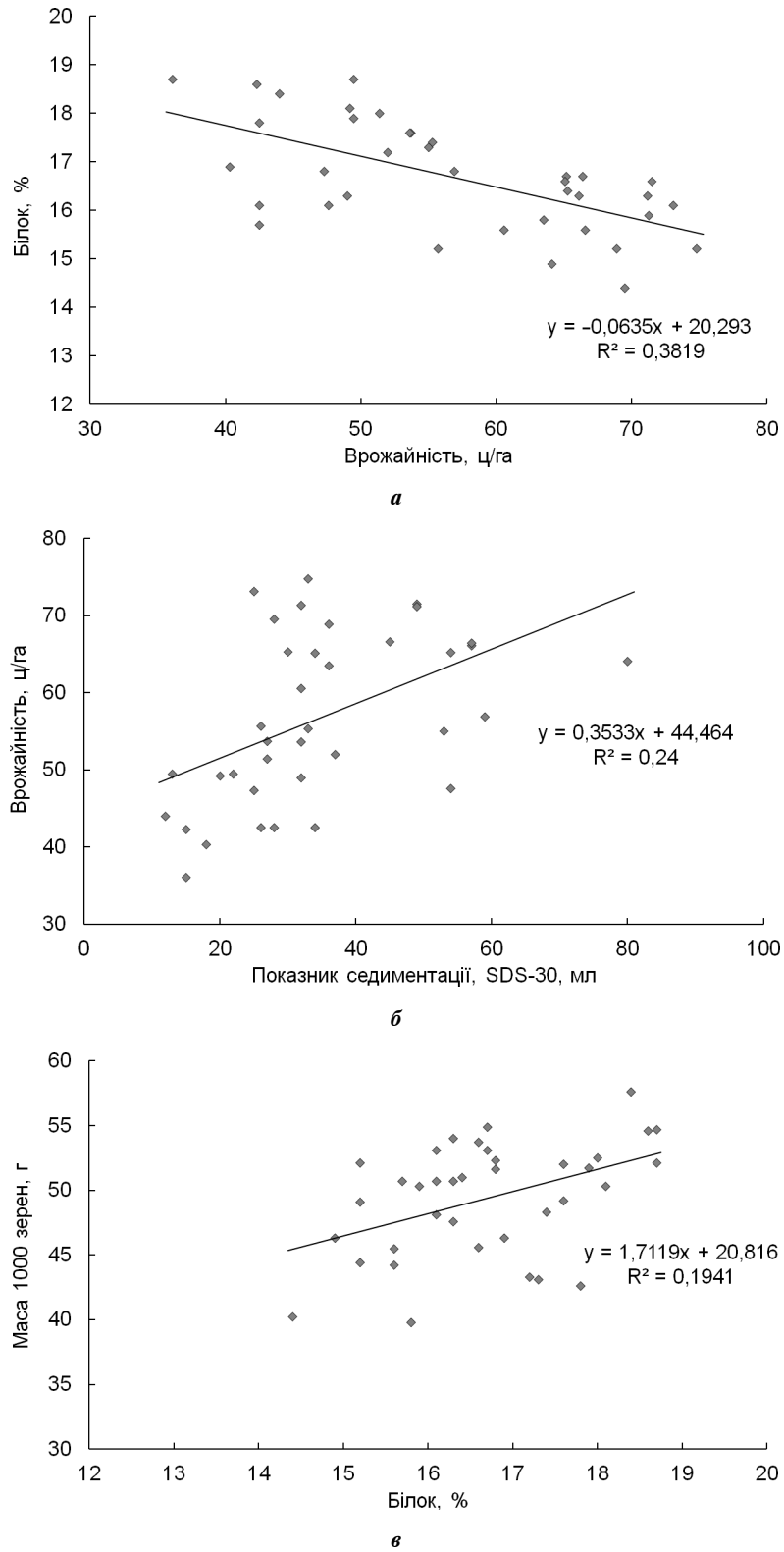


Рис. 3. Залежності між вмістом білка і врожайністю (а), показником седиментації і врожайністю (б), масою 1000 зерен і вмістом білка (в)

даними різних авторів варіює від $-0,17$ до $-0,59$ [46, 50], проте доведена можливість одержання генотипів з позитивною кореляцією між цими показниками, щоправда з дуже низькою частотою (1,8 %) [46, 50]. Позитивна кореляція між вмістом білка і масою 1000 зерен, виявлена в наших дослідженнях, вказує на перспективність добору зразків з великим зерном і підвищеним вмістом білка.

Отже, останнім часом спельта привертає до себе значну увагу, про що свідчить збільшення кількості досліджень її різних форм та генотипів за кількісними та якісними ознаками. Проте більшість цих досліджень були проведені з обмеженою кількістю зразків, що могло призвести до упереджених результатів. Тому оцінка великих колекцій спельти допомагає виявити нові генотипи, які мають цінні властивості та можуть бути використані для виведення краще адаптованих сортів спельти й поліпшення генетичного різноманіття м'якої пшениці.

Нашими дослідженнями показано, що за основними господарськими характеристиками спельта не поступається м'якій пшениці, а кращі селекційні лінії знаходяться на рівні сорту-стандарту Наталка або навіть перевищують його. Виділено колекційні зразки УК 71С/17, УК 79С/17, УК 74С/17 з високим вмістом білка та врожайністю, які мають практичне значення для подальшої селекції та генетичного поліпшення культури. Кращі лінії спельти, які зазнали селекційного поліпшення (УК 3980С/23, УК 4060С/20, УК 3890С/22) за врожайністю зерна, вмістом білка і його збору з гектара, значно переважають сорт-стандарт озимої пшениці Наталка, що зумовлено кращим поєднанням вмісту білка в зерні та врожайності. Зазначені селекційні лінії заслуговують доопрацювання і передачі в Державне сорто випробування.

Виявлено, що лінії з меншою довжиною стебла порівняно із сортом-стандартом спельти Зоря України та з високою стійкістю до вилягання відрізнялися найбільшою продуктивністю і придатні для залучення у схеми селекційного поліпшення культури. Проте збільшення продуктивності супроводжується зменшенням вмісту білка. За такими показниками якості зерна, як вміст білка і клейковини, спельта перевершує пшеницю, однак за показником седиментації і твердозерністю поступається їй. Виділено генотипи, у яких показники твердозерності вірогідно перевищували показники м'якої пшениці, що може свідчити про потенційно вищу хлібопекарську якість. Встановлено, що генотипи спельти з порівняно великою масою 1000 зерен мають також і високий вміст білка (виявлено позитивну кореляцію між масою 1000 зерен і вмістом білка), що може бути корисним для селекційних програм, спрямованих на виведення нових поліпшених сортів. Загалом, за основними агрономічними показниками спельта заслуговує на більш широке сільськогосподарське використання.

REFERENCES

1. Packa, D., Załuski, D., Graban, L. & Lajszner, W. (2019). An evaluation of spelt crosses for breeding new varieties of spring spelt. *Agronomy*, 9(4), 167. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040167>

2. Luo, V.-C., Yang, Z.-L. & You, F.M. (2007). The structure of wild and domesticated emmer wheat populations, gene flow between them, and the site of emmer domestication. *Theor. Appl. Genet.*, 114(6), pp. 947-959. <https://doi.org/10.1007/s00122-006-0474-0>
3. Kislev, M. Emergence of wheat agriculture. (1984). *Paléorient*, 10(2), pp. 61-70. <https://doi.org/10.3406/paleo.1984.940>
4. Gospodarenko, G.M., Kostogriz, P.V., Liubich, V.V., Parii, M.F., Poltoretskii, S.P., Polianetska, I.O., Riabovol, I.S., Rjabovol, L.O. & Suhomud, O.G. (2016). Pshenytsia spelta [Spelt wheat]. Kyiv: TOV Sik Group Ukraine [in Ukrainian].
5. Alvarez, J.B. & Guzmán C. (2013). Spanish ancient wheat: a genetic resource for wheat quality breeding. *Adv Crop Sci Tech*, 1:101. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000101>
6. Faris, J. (2014). Wheat domestication: key to agricultural revolutions pasts and future. In: Tuberosa, R., Graner, A., Frison, E. (eds.). *Genomics of Plant Genetic Resources* (pp. 439-464). Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-007-7572-5_18.
7. Zohary, D. & Hopf, M. (1993). *Domestication of plants in the old world: The origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley*. Oxford: Clarendon Press.
8. Diordiieva, I.P., Riabovol, I.S., Riabovol, L.O., Babii, M.M., Fedorenko, S.V., Serzhuk, O.P., Maslovata, S.A., Liubchenko, A.I., Novak, Z.M. & Liubchenko, I.O. (2024). Breeding and genetic improvement of spelt wheat (*Triticum spelta*) by interspecific hybridization. *Regul. Mech. Biosyst.*, 15(3), pp. 463-468. <https://doi.org/10.15421/022465>
9. Dvorak, J., Akhunov, E.D., Akhunov, A.R., Deal, K.R., & Luo, M.C. (2006). Molecular characterization of a diagnostic DNA marker for domesticated tetraploid wheat provides evidence for gene flow from wild tetraploid wheat to hexaploid wheat. *Mol. Biol. Evol.*, 23, pp. 1386-1396. <https://doi.org/10.1093/molbev/msl004>
10. Salamini, F., Özkan, H., Brandolini, A., Schäfer-Pregl, R. & Martin, W. (2002). Genetics and geography of wild cereal domestication in the near east. *Nat. Rev. Genet.*, 3, pp. 429-441. <https://doi.org/10.1038/nrg817>
11. Tverdokhlib, O.V., Holik, O.V. & Niniyeva, A.K. (2013). Bohuslavs'kyy & R.L. Spelta i polba v orhanichnomu zemlerobstvi. *Posibnyk ukrainskoho khliboroba*. pp.154-155 [in Ukrainian].
12. Shelepov, V.V., Gavrilyuk, N.N. & Vergunov, V.A. (2013). *Wheat: biology, morphology, selection, seed production*. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
13. Babenko, L.M., Hospodarenko, H.M., Rozhkov, R.V., Paryi, Y.F., Paryi, M.F., Babenko, A.V. & Kosakivska, I.V. (2018). *Triticum spelta*: Origin, biological characteristics and perspectives for use in breeding and agriculture. *Regul. Mech. Biosyst.*, 9(2), pp. 250-257. <https://doi.org/10.15421/021837>
14. Morgun, V.V., Sichkar, S.M., Pochynok, V.M., Ninieva, A.K. & Chuhunkova, T.V. (2016). Characterization of spelt wheat (*Triticum spelta* L.) collection accessions by performance elements and bread-making quality. *Fiziol. rosl. genet.*, 48, No. 2, pp. 112-119 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2016.02.112>
15. Chrpova, J., Grausgruber, H., Weyermann, V., Buerstmayr, M., Palicova, J., Kozova, J., Travnickova, M., Nguyen, Q.T., Moreno Amores, J.E., Buerstmayr, H. & Janovska, D. (2021). Resistance of winter spelt wheat [*Triticum aestivum* subsp. *spelta* (L.) Thell.] to fusarium head blight. *Front. Plant Sci.*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.661484>
16. Zvedenyuk, T. (2013). Spelt is a cereal from the Stone Age. *Grain*, 7, pp. 82-90 [in Ukrainian].
17. Salarov, M. & Filipčhev, B. (2020). Spelt vs common wheat: potential advances and benefits. *Acta Innovations*, 35, pp. 58-65. <https://doi.org/10.32933/ActaInnovations.35.4>
18. Dinu, M., Whittaker, A., Pagliai, G., Benedettelli, S. & Sofi, F. (2018). Ancient wheat species and human health: Biochemical and clinical implications. *J. Nutr. Biochem.*, 52, pp. 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2017.09.001>
19. Geisslitz, S., Longin, C.F. H., Scherf, K.A. & Koehler, P. (2019). Comparative study on gluten protein composition of ancient (einkorn, emmer and spelt) and modern wheat species (durum and common wheat). *Foods*, 8(9), 409. <https://doi.org/10.3390/foods8090409>
20. Kraska, P., Andruszczak, S., Gawlik-Dziki, U., Dziki, D. & Kwiecinska-Poppe, E. (2020). Wholemeal spelt bread enriched with green spelt as a source of valuable nutrients. *Processes*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/pr8040389>

21. Huertas-Garcia, A., Tabbita, F., Alvarez, J., Sillero, J. C., Ibba, M., Rakszegi, M. & Guzman, C. (2023). Genetic variability for grain components related to nutritio quality in spelt and common wheat. *J. Agricult. Food Chem.*, 71, pp. 10598-10606. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02365>
22. Rybalka, O.I., Polyshchuk, S.S., Chervonys, M.V., Morgun, V.V. & Morgun, B.V. (2024). Unique spelt wheat (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) with dark-purple grain color. *Fiziol. rosl. genet.*, 56, No. 5, pp. 419-430 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2024.05.419>
23. Escarnot, E., Agneessens, R., Wathelet, B. & Paquot, M. (2010). Quantitative and qualitative study of spelt and wheat fibres in varying milling fractions. *Food Chem.*, 122, pp. 857-863. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.047>
24. Hamed, A.M. & Simsek, S. (2014). Hulled Wheats: A Review of nutritional properties and processing methods. *Cereal Chem.*, 91, pp. 97-104. <https://doi.org/10.1094/cchem-09-13-0179-rw>
25. Filipčev, B., Šimurina, O., Bodroža-Solarov, M. & Obreht, D. (2013). Comparison of the bread-making performance of spelt varieties grown under organic conditions in the environment of northern Serbia and their responses to dough strengthening improvers. *Hemijska Industrija*, 67, pp. 443-453. <https://doi.org/10.2298/hemind120606083f>
26. Longin, F.H., Afzal, M., Pfannstiel, J., Bertsche, U., Melzer, T., Ruf, A., Heger, C., Pfaff, T., Schollenberger, M. & Rodehutschord, M. (2023). Mineral and phytic acid content as well as phytase activity in flours and breads made from different wheat species. *Int. J. Mol. Sci.*, 24(3). <https://doi.org/10.3390/ijms24032770>
27. Wiwart, M., Szafrńska, A. & Suchowilska, E. (2023). Grain of hybrids between spelt (*Triticum spelta* L.) and bread wheat (*Triticum aestivum* L.) as a new raw material for breadmaking. *Polish J. Food Nutr. Sci.*, 73(3), pp. 265-277. <https://doi.org/10.31883/pjfn/170870>
28. Alvarez, J.B. (2021). Spanish Spelt Wheat: From an Endangered Genetic Resource to a Trendy Crop. *Plants*, 10(12), 2748. <https://doi.org/10.3390/plants10122748>
29. European Union. Common Catalogue of Varieties of Agricultural Plant Species. (2019). 37th ed., C 13, Official Journal of European Union: Brussels, Belgium.
30. Diordiieva, I.P., Riabovol, L.O., Riabovol, Ya.S., Serzhuk, O.P., Nakloka, Iu.I., Nakloka, O.P. & Karychkovska, S.P. (2022). Breeding and genetic improvement of soft winter wheat with the use of spelt wheat. *Agronomy Res.*, 1, pp. 91-102. <https://lib.udau.edu.ua/handle/123456789/9215>
31. Wang, Y., Wang, Z., Chen, Y., Lan, T., Wang, X., Liu, G., Xin, M., Hu, Z., Yao, Y., Ni, Z., Sun, Q., Guo, W. & Peng, H. (2024). Genomic insights into the origin and evolution of spelt (*Triticum spelta* L.) as a valuable gene pool for modern wheat breeding. *Plant Comm.*, 5, 100883. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.100883>
32. Rapp, M., Beck, H., Gütler, H., Heilig, W., Starck, N., Römer, P., Cuendet, C., Uhlig, F., Kurz, H., Würschum, T. & Longin, C.F.H. Spelt: Agronomy, quality, and favor of its breads from 30 varieties tested across multiple environments. (2017). *Crop Sci.*, 57, No. 2, pp. 739-747. <https://doi.org/10.2135/cropsci2016.05.0331>
33. Xie, Q., Mayes, S. & Sparkes, D.L. (2015). Spelt as a genetic resource for yield component improvement in bread wheat. *Crop Sci.*, 55, No. 6, pp. 2753-2765. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.12.0842>
34. Geisslitz, S., Longin, C.F.H., Scherf, K.A. & Koehler, P. (2019). Comparative Study on Gluten Protein Composition of Ancient (Einkorn, Emmer and Spelt) and Modern Wheat Species (Durum and Common Wheat). *Foods*, 8(9), 409. <https://doi.org/10.3390/foods8090409>
35. Curzon, A.Y., Kottakota, C., Nashef, K., Abbo, S., Bonfl, D.J., Reifen, R., Bar-El, S., Rabinovich, O., Avneri, A. & Ben-David, R. (2021). Assessing adaptive requirements and breeding potential of spelt under Mediterranean environment. *Sci. Reports*, 11, 7208. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86276-1>
36. Greenwood, J.R., Finnegan, E.J., Watanabe, N., Trevaskis, B. & Swain, S.M. (2017). New alleles of the wheat domestication gene *Q* reveal multiple roles in growth and reproductive development. *Development*, 144(11), pp. 1959-1965. <https://doi.org/10.1242/dev.146407>

37. Zhang, Z., Belcram, H., Magdelenat, G., Couloux, A., Samain, S., Gill, S., Rasmussena, J.B., Barbed, V., Faris, J.D. & Huneau, C. (2011). Duplication and partitioning in evolution and function of homoeologous Q loci governing domestication characters in polyploid wheat. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108 (46), pp. 18737-18742. <https://doi.org/10.1073/pnas.1110552108>
38. Ratajczak, K., Sulewska, H., Grażyna, S. & Matysik, P. (2020). Agronomic traits and grain quality of selected spelt wheat varieties versus common wheat. *J. Crop Improv.*, 34(5), pp. 654-675. <https://doi.org/10.1080/15427528.2020.1761921>
39. Rybalka, O.I. (2011). Quality of wheat and her improvement. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
40. Yeshchenko, V.O., Kopytko, P.G., Kostogryz, P.V. & Opryshko, V.P. Fundamentals of scientific research in agronomy. Vinnytsia: TD Edelweiss and K [in Ukrainian].
41. Feledyn-Szewczyk, B. (2013). The Influence of Morphological Features of Spelt Wheat *Triticum Aestivum* Ssp. *Spelta* and Common Wheat *Triticum Aestivum* Ssp. *Vulgare* Varieties on the Competitiveness against Weeds in Organic Farming System. *J. Food, Agricult. Environ.*, 11 (1), pp. 416-421.
42. Yakymchuk, R.A. (2018). Kharakter uspadkuvannia dovzhyny stebła u karlykovykh mutantiv miakoyi ozymoyi pshenytsi, otrymanykh v rayoni ChAES [Character of inheritance of stem length in dwarf mutants of soft winter wheat obtained in the area of the Chernobyl nuclear power plant. *Fiziol. rosl. genet.*, 50, No. 1, pp.46-58 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15407/frg2018.01.046>
43. Berry, P. M. & Berry, S. T. (2015). Understanding the genetic control of lodging-associated plant characters in winter wheat (*Triticum aestivum* L). *Euphytica*, 205(3), pp. 671-689. <https://doi.org/10.1007/s10681-015-1387-2>
44. Grant, N.P., Morhan, A., Sandhu, D. & Gill, K.S. (2018). Inheritance and genetic mapping of the reduced height (Rht18) gene in wheat. *Plants*, 7(3), pp. 58-65. <https://doi.org/10.3390/plants7030058>
45. De Faris, J., Fellers, J.P., Brooks, S.A. & Gill, B.S. (2003). Bacterial artificial chromosome contig spanning the major domestication locus Q in wheat and identification of a candidate gene. *Genetics*, 164, pp.311-321. <https://doi.org/10.1093/genetics/164.1.311>
46. Abdipour, M., Ebrahimi, M., Izadi-Darbandi, A., Mastrangelo, A.M., Najafian, G., Arshd, Y. & Mirniyam, G. (2016). Association between grain size and shape and quality traits, and path analysis of thousand grain weight in Iranian bread wheat landraces from different geographic regions. *Not. Bot. Horti Agrobo*, 44, No. 1, pp. 228-236. <https://doi.org/10.15835/nbha.44.1.10256>
47. Sugar, E., Fodor, N., Sandor, R., Bonis, P., Vida, G. & Arendas, T. (2019). Spelt wheat: An alternative for sustainable plant production at low N-levels. *Sustainability*, 11, 6726. <https://doi.org/10.3390/su11236726>
48. Bhave, M. & Morris, C. (2008). Molecular genetics of puroindolines and related genes: allelic diversity in wheat and other grasses. *Plant Mol. Biol.*, 66, pp. 205-219. <https://doi.org/10.1007/s11103-007-9263-7>
49. Kulathunga, J., Reuhs, B.L., Zwinger, S. & Simsek, S. (2021). Comparative Study on Kernel Quality and Chemical Composition of Ancient and Modern Wheat Species: Einkorn, Emmer, Spelt and Hard Red Spring Wheat. *Foods*, 10(4), 761. <https://doi.org/10.3390/foods10040761>
50. Mutwali, N.I., Mustafa, A.I., Gorafi, Y.S. & Mohamed, I.A. (2015). Effect of environment and genotypes on the physicochemical quality of the grains of newly developed wheat inbred lines. *Food Sci. Nutr.*, 4, No. 4, pp. 508-520. <https://doi.org/10.1002/fsn3.313>
51. Garg, M., Mikiko, Y., Hiroyuki, T. & Hisashi, T. (2014). Introgression of useful genes from *Thinopyrum intermedium* to wheat for improvement of breadmaking quality. *Plant Breed.*, 133, No. 3, pp. 327-334. <https://doi.org/10.1111/pbr.12167>

Received 18.04.2025

SPELT WHEAT: BIOLOGICAL PROPERTIES AND ECONOMIC SIGNIFICANCE

V.V. Morgun, O.M. Radchenko, O.V. Dubrovna

Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylkivska St., Kyiv, 03022, Ukraine
e-mail: ales2009@ukr.net

Triticum spelta L. is one of the oldest wheat species, which is characterized by many valuable properties, including plant resistance to pathogens, better adaptability to adverse environmental factors, increased protein content in the grain, and its nutritional values. In recent years, the popularity and use of spelt in the world, and in Ukraine in particular, has been steadily growing, which is associated with the development of organic farming, as well as the need for high-quality food products, which this crop provides. Despite the high potential of spelt, its widespread distribution is hindered by low yield and some morphological characteristics (plant height, grain firmness, ear fragility). Through selection and genetic improvement, it is possible to eliminate the shortcomings of the crop and at the same time preserve its valuable properties. In this regard, the aim of our research was to study the samples of winter spelt collection of the Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine for morphological characteristics, productivity and quality indices of grain, and to identify valuable genotypes for their use in the breeding for the creation of improved crop varieties. There were identified breeding lines which, according to certain economic and valuable indices, were at or above the standard variety of winter bread wheat Nataalka, and are promising for the genetic improvement of spelt and bread wheat. It was shown that lines with a shorter stem length, compared to the standard spelt variety Zorya Ukrainy, with high resistance to lodging, were distinguished by higher productivity, and are suitable for inclusion in the schemes of breeding improvement of this crop. Genotypes were identified in which the protein yield per hectare exceeds the standard variety Zorya Ukrainy, which is due to the better combination of protein content in grain and its yield. There were identified genotypes in which the index of grain hardness significantly exceeded the index of the bread wheat standard variety Nataalka, which may indicate a potentially higher baking quality of their flour. A correlation analysis was conducted to identify the relationship between the manifestation of agronomic traits and grain quality indices. Selection lines were identified that deserve further development and transfer to the State Variety Testing.

Key words: *Triticum spelta* L., winter wheat, collection, morphological traits, productivity, grain quality, bread wheat.

ORCID

B.B. МОРГУН — V.V. Morgun <https://orcid.org/0000-0001-5842-6328>

О.М. РАДЧЕНКО — O.M. Radchenko <https://orcid.org/0000-0002-3168-923X>

О.В. ДУБРОВНА — O.V. Dubrovna <https://orcid.org/0000-0002-4884-7572>