

<https://doi.org/10.15407/frg2026.02.168>

УДК 631.527:633.11

АНАЛІЗ СЕЛЕКЦІЙНИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ З ФІОЛЕТОВИМ ЗЕРНОМ ЗА ПРОДУКТИВНІСТЮ І ЯКІСТЮ ЗЕРНА

О.М. РАДЧЕНКО, О.В. ДУБРОВНА, Н.В. САНДЕЦЬКА

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

Починаючи з 1990-х років у селекції пшениці та інших зернових культур зародився принципово новий тренд — створення сортів з кольоровим (фіолетовим, синім, чорним) зерном, який нині набирає потужних обертів у багатьох країнах світу, зокрема й в Україні. Це новітній напрям досліджень спрямований на істотне поліпшення харчових характеристик зерна шляхом біофортифікації біоактивними пігментами антоціанами з високим рівнем антиоксидантної активності. В Інституті фізіології рослин і генетики НАН України розгорнуто масштабні програми створення селекційного матеріалу для отримання нових сортів м'якої пшениці й пшениці спельти з кольоровим зерном та істотно поліпшеним за рахунок високої антиоксидантної активності харчовим функціональним статусом зерна. З огляду на це, метою роботи був аналіз отриманих нами селекційних ліній пшениці спельти з фіолетовим зерном за їх продуктивністю та якістю. Як стандарти використано сорт м'якої пшениці Чорноброва та сорт пшениці спельти Зоря України. Серед досліджених ліній виділено генотипи з легким (80 %) обмолотом зерна. Показано, що більшість селекційних ліній поступаються м'якій пшениці за продуктивністю. Встановлено, що 12 генотипів мають істотно більший вміст білка, ніж сорт м'якої пшениці Чорноброва, але вірогідно не відрізняються від сорту спельти Зоря України. Лінії УК 3999С/23, УК 3922С/23, УК 3933С/23, УК 3996С/23 показали істотно більший збір білка з гектара, ніж сорти-стандарти спельти та м'якої пшениці. За вмістом клейковини більшість ліній вірогідно не відрізняються від сорту спельти Зоря України. Виявлено, що у ліній спельти середній показник твердозерності варіює від позитивного значення (+29,8) до негативного (–22,0). Показано, що індекс седиментації у спельти нижчий, ніж у м'якої пшениці. За всіма показниками хлібопекарської якості борошна вивчені лінії спельти поступаються пшеничному, однак мають вищу, ніж у сорту Зоря України, загальну хлібопекарську оцінку. Підтверджено, що зразки спельти з вищим вмістом білка характеризуються вищою водопоглинальною здатністю. За результатами багаторічних доборів до Державного сортовипробування передано новий сорт спельти Добра новина з фіолетовим зерном.

Цитування: Радченко О.М., Дубровна О.В., Сандецька Н.В. Аналіз селекційних ліній пшениці спельти з фіолетовим зерном за продуктивністю і якістю зерна. *Фізіологія рослин і генетика*. 2026. 58, № 2. С. 168–184. <https://doi.org/10.15407/frg2026.02.168>

This is open access article under the CC BY license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Ключові слова: *Triticum spelta* L., селекційні лінії, фіолетове зерно, продуктивність, якість зерна.

Пшениця спельта (*T. aestivum* (L.) Thell ssp. *spelta* (L.) Thell.) — різновид плівчастої пшениці, геном якої такий самий як у гексаплоїдної м'якої пшениці (*T. aestivum* L.). Вона характеризується багатьма цінними властивостями, серед яких стійкість до патогенів, краща адаптивність до несприятливих чинників довкілля, підвищений вміст білка в зерні, харчова цінність зерна [1, 2]. В останні роки популярність і використання спельти у світі, й Україні зокрема, невпинно зростає, що пов'язано із розвитком органічного землеробства, а також потребою у продуктах харчування високої якості, яку забезпечує дана культура [3, 4]. Із зерна спельти виробляють борошно, висівки, крупу, макарони, хліб, печиво, вафлі, пиво, спирт [5].

Нині є досить експериментальних даних, які свідчать, що поживні характеристики зерна спельти є кращими, ніж у сучасних сортів м'якої пшениці [6]. Спельта характеризується високим вмістом білка в зерні (переважає *T. aestivum* L. на 8,0–10,0 %, *T. sphaerococum* Persiv. — на 3,0–8,0 %), наявністю поживних речовин, яких немає в продуктах тваринного походження [3, 5–8]. Зерно спельти містить більше цінних ліпідів і мінералів, зокрема вищі рівні Fe, Zn, Cu, Mg і P, більше вітамінів та розчинної дієтичної клітковини [9]. Воно має у 8–10 разів вищий вміст резистентного крохмалю [10], більший вміст антиоксидантів, таких як фолати, алкілрезорциноли і фітостероли [11], переважає сучасну пшеницю за вмістом у зерні селену [12], містить менше фітинової кислоти, яка хелатує мінерали. Отже, у неї не лише високий вміст мінералів, а й вища їх засвоюваність [13, 14]. Водночас спельта містить менше вуглеводів та клітковини, ніж м'яка пшениця [15, 16].

Зростання усвідомлення тісного зв'язку між харчуванням і здоров'ям людини натепер значно змінює харчові уподобання людей у всьому світі, стимулюючи зростання споживання продуктів з високою харчовою цінністю [17]. Борошно зі спельти та хлібобулочні вироби із нього стають все популярнішими завдяки своїй високій засвоюваності, а також придатності для споживання людям з чутливістю до глютену білків [18]. Значна частина пацієнтів, які не страждають на цeliacію, але мають розлади здоров'я, пов'язані з пшеницею, витривалі до продуктів, виготовлених з певних сортів спельти [6].

З початку 1990-х років у селекції пшениці та інших зернових культур почав зароджуватися принципово новий тренд — створення сортів з кольоровим (фіолетовим, синім, чорним) зерном, який нині набирає потужних обертів у багатьох країнах світу [4]. Це новітній світовий тренд досліджень, спрямований на істотне поліпшення харчових характеристик сортів пшениці біофортифікацією біоактивними пігментами антоціанами [19]. Вже відомо багато країн (Китай, Індія, Канада, Австралія, Австрія, Чехія та ін.), де створено десятки сортів пшениці з кольоровим зерном і де розпочато виробництво різних харчових продуктів з цільного зерна кольорової пшениці [19, 20]. Лідером у створенні сортів пшениці з чорним і фіолетовим зерном є Китай, де зареєстровано вже кілька десятків сортів чорнозерної пше-

ниці. Серед них найвідомішими є такі сорти, як Heibaoshi 1, Hedongwumai 526, Luozhen 1, Heilixiaomai 1 [21].

Темна пігментація зерна кольорових пшениць зумовлена пігментами антоціанами, які виявляють високу антиоксидантну і протизапальну активність, захищають клітини від деструктивної дії вільних радикалів, мають широкий спектр позитивного впливу на організм людини, пов'язаний із захистом проти метаболічних синдромів, таких як ожиріння, цукровий діабет, гіпертензія, дисліпідемія, рак і серцево-судинні патології [21]. Вони сповільнюють старіння, мають нейропротекторну дію, а сорти пшениці з кольоровим зерном і високим вмістом антоціанів мають ще й високий функціональний харчовий статус [4, 21, 22]. Колір зерна пов'язаний не лише з високим вмістом антоціанів, а й з підвищеним вмістом у зерні вітамінів і мікроелементів, особливо заліза й цинку. Зерно, що містить антоціани, має різноманітніший склад флавоноїдів, містить більше білка і незамінних амінокислот [23].

Кольори зерна пшениці представлені головню трьома барвами: синя, фіолетова і чорна, залежно від типу антоціанів та їх локалізації в анатомічних структурах зернівки [19]. Пігменти синього кольору локалізовані в алейроновому шарі зернівки, фіолетовий колір наявний в оболонці зерна (перикарпі), а чорний колір комбінує водночас синє і фіолетове забарвлення. Пігменти антоціани, які зумовлюють перелічені кольори зерна, знаходяться в периферійних анатомічних шарах зернівки, і при помелі зерна переходять у фракцію технологічних висівок.

Головними антоціановими пігментами у синій пшениці є дельфінідин-3-глюкозид, дельфінідин-3-галактозид, дельфінідин-3-рутинозид та мальвїдин-3-глюкозид [24]. У фіолетовій пшениці основними антоціанами є ціанїдин-3-глюкозид, ціанїдин-3-(6-малонілглюкозид), ціанїдин-3-рутинозид, пеонїдин-3-глюкозид та пеонїдин-3-(6-малонілглюкозид) [25]. Основними сполуками антоціанів у чорнозерній пшениці є похідні шести поширених антоціанїдинів (дельфінїдину, ціанїдину, пеларгонїдину, пеонїдину, петунїдину та мальвїдину [26]. Кількісний вміст антоціанїнів у зерні червонозерної пшениці ~5 мг/кг, фіолетової пшениці ~40, у синьої ~80 і чорної ~140 мг/кг [4].

Гени, що контролюють ці екзотичні для культурної пшениці кольори перенесені до неї віддаленим схрещуванням з дикорослими і деякими культурними родичами, такими як *T. aepiopicum*, *Aegilops speltoides*, *Agropyron tricholporum*, *Ag. glaucum*, *Ag. elongatum*, *T. boeoticum*, *T. monococcum*, *Thinopyrum ponticum*, *Th. besarabicum*, *Th. elongatum*, *Secale cereale* та ін. [4].

Накопичення антоціанів у перикарпі, яке зумовлює фіолетове забарвлення зерна, контролюється трьома доміантними алелями: *Pp-B1*, розташованим на хромосомі 7BL, *Pp-D1*, хромосомі 7D, *Pp3* та на хромосомі 2A [27]. Таким чином, для розвитку фіолетового перикарпу необхідні два комплементарні компоненти, розташовані у різних геномах, а саме А та В або А та D. Навіть якщо два інші гени (*Pp-B1* та *Pp-D1*) є доміантними, зерно не буде фіолетовим за наявності рецесивного гена *Pp3*. Необхідність одночасної наявності функціональних алелів двох комплементарних генів з різних геномів (А і

В або А і D) пояснює той факт, що форми з фіолетовим забарвленням перикарпа зерна виявляються лише серед гексаплоїдних видів *T. spelta* та *T. aestivum* [19]. Цзян та співавт. [28] припустили, що два транскрипційні фактори — *R2R3-MYB* та *bHLH-MYC* спільно регулюють синтез антоціанів у фіолетовому перикарпі, проте фактичний механізм, який контролює цю ознаку, досі залишається незрозумілим. Синій колір алейрону кодують домінантний ген *Ba1* (від хромосоми 4AgL (*Ag. elongatum*) і напівдомінантний *Ba2* (хромосома 4A від *T. monococcum*), домінантні гени *Ba(c)* від *Th. bessarabicum* і *Ba(d)* від *Th. ponticum* [29, 30].

В Інституті фізіології рослин і генетики НАН України на культурах озимої пшениці та спельти розгорнуто масштабні й перші в Україні програми створення селекційного матеріалу для отримання нових сортів цих злакових культур з кольоровим (фіолетовим, синім і чорним) зерном та істотно поліпшеним за рахунок високої антиоксидантної активності харчовим функціональним статусом зерна. Вже створено і занесено до Державного реєстру сортів України сорт озимої пшениці з кольоровим зерном Чорнозерна. Відомим селекціонером, чл.-кор. НАН України та НААН України О.І. Рибалкою вперше у світі створений сорт спельти Білбері з темно-фіолетовим зерном і поліпшеною харчовою цінністю зерна [4, 31]. Він має вміст антоціанів майже 80 мг/кг, високий вміст білка у зерні (16,8 %) та клейковини (45 %). Для отримання сортів пшениці спельти з кольоровим зерном створюються селекційні лінії та досліджуються їх господарсько-цінні ознаки.

Метою роботи був аналіз отриманих нами селекційних ліній пшениці спельти з фіолетовим зерном за продуктивністю та якістю зерна.

Методика

Полеві дослідження виконували на полях Дослідного сільськогосподарського виробництва ІФРГ НАН України (с-ще Глеваха, Фастівський р-н, Київська обл.). Поля розміщені на Київському плато в межах Придніпровської височини та Поліської терасової рівнини. Ґрунти під посівами світло-сірі, супіщані. Система основного і передпосівного обробітку ґрунту загальноприйнята для Лісостепової зони України. Дослідження проводили упродовж 2023—2025 рр. Кліматичні умови в цей період характеризувались контрастністю як за температурним режимом, так і за рівнем вологозабезпечення.

Сприятливими для вегетації пшениці у зоні Лісостепу виявились гідротермічні умови 2023 р., які характеризувалися оптимальною сумою температур і достатнім зволоженням ґрунту. У 2024 р. в північній частині зони Лісостепу упродовж періоду вегетації спостерігалась посуха (ГТК = 0,8). У 2025 р. у північній частині зони Лісостепу пшениця росла переважно за умов достатнього зволоження ґрунту. Рівень ГТК у період вегетації варіював у межах 0,8 — 2,2.

Як дослідний матеріал для схрещувань використовували зразок озимої спельти різновиду var. *duhamelianum* (Чехія), з генетичної колекції Інституту фізіології рослин і генетики НАН України, та сорт

озимої м'якої пшениці Чорноброва з темно-фіолетовим зерном (отриманий шляхом схрещування сорту озимої пшениці Куяльник та донором чорнозерної пшениці Donghei 10) селекції Селекційно-генетичного інституту—Національного центру насіннезнавства та сортовивчення Національної академії аграрних наук України (м. Одеса), який вирізняється підвищеним вмістом білка (до 15,2 %), заліза та вітамінів. Спочатку було проведено схрещування (♀) *T. spelta* var. *duhamelianum* × Чорноброва (♂) і отримано насіння F_1 . Після цього спельта *T. spelta* var. *duhamelianum* (♀) була запилена пишком гібрида F_1 *T. spelta* var. *duhamelianum* × Чорноброва (♂) і отримано насіння від першого бекросу BC_1 . Серед рослин BC_1/F_2 відібрано рослини з морфологічними ознаками спельти і фіолетовим зерном. У наступні роки було виконано декілька бекросів на оригінальну спельту (♀) *T. spelta* var. *duhamelianum*. У кожному схрещуванні спельта використовувалася як материнська рослина з метою збереження її оригінальної цитоплазми. У 2019—2021 рр. були відібрані елітні рослини, морфологічно подібні до оригінальної спельти, які досліджували на зернову продуктивність, ознаки хлібопекарської якості та використовували для подальшого розмноження.

Ділянки з обліковою площею 10 м² розміщували систематичним методом. Номери розташовували блоками з густотою рослин 400 тис. шт/га. Повторність досліду триразова. Зразки оцінювали за низкою господарсько-цінних ознак (урожайність, показники якості зерна) та порівнювали із стандартами. Стандартом були сорт пшениці спельти озимої Зоря України та сорт пшениці озимої м'якої Чорноброва. Для порівняльних аналізів також використовували сорт озимої м'якої пшениці високої хлібопекарської якості Наталка.

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 (Perten, Швеція). Вимірювання здійснювали за температури 25 °С. Для аналізу використовували зразки цільного борошна масою 40 г, які отримували розмелюванням на лабораторному млині Perten LM 3100 (Perten, Швеція). Визначення показника седиментації борошна проводили методом SDS-30 на автоматичному приладі з програмним управлінням, розробленому в Селекційно-генетичному інституті—Національному центрі насіннезнавства та сортовивчення НААН України [32].

Визначення фізичних властивостей тіста проводили на альвеографі Шопена. Метод аналізу заснований на розширенні зразків тіста (вода+сіль+борошно) у вигляді бульбашки під впливом надлишкового тиску повітря. Даний процес імітує деформацію тіста під дією газів, які виділяються дріжджовими культурами або хімічними розпушувачами [33].

Лабораторну випічку хліба з пшеничного борошна проводили безопарним методом. Для замісу тіста використовували 100 г пшеничного борошна 70 % виходу (при вологості 14 %), пресовані хлібопекарські дріжджі, сіль (екстра), цукор, бромат калію, аскорбінову кислоту і водопровідну воду. Випікали хліб упродовж 25 хв за темпе-

ратури 230 °С. Загальна тривалість процесу від початку замісу тіста до кінця випічки становила 3,5–4,5 год [33].

Статистичний аналіз отриманих даних проведено за допомогою програмного забезпечення ANOVA та критерію вірогідних відмінностей Тьюкі-тесту за середніми значеннями. Істотність різниці між показниками оцінювали на рівні $p \leq 0,05$. Для виявлення залежності між проявом врожайності та показниками якості зерна проведено кореляційний аналіз [34].

Результати та обговорення

Проведено комплексний аналіз 15 створених нами селекційних ліній спельти з фіолетовим зерном за господарсько-цінними ознаками. За морфологією досліджені рослини порівняно високорослі (110–120 см), з довгим колосом (14–19 см), остисті, зернівки вузькі, продовгуваті (рис. 1).

Селекційні лінії, створені внаслідок схрещування м'якої пшениці зі спельтою, мали значні відмінності в характері обмолоту зерна. Лінії УК 3947С/23, УК 3951С/23 і УК 3953С/23 характеризуються доволі легким обмолотом зерна (80 %), тоді як інші дванадцять ліній були «важкообмолочуваними», подібними за цією характеристикою до сорту спельти Зоря України. Слід зазначити, що у спельти на ха-



a



b



c



d

Рис. 1. Загальний вигляд рослин спельти з фіолетовим зерном (*a*), колоски спельти з фіолетовим зерном (*b*), фіолетове зерно спельти (*c*), зерно червонозерної спельти (*d*)

ракти обмолоту зерна впливають два алеля — рецесивний алель гена Q і домінантний алель гена Tg , вона має генотип — $qqTgTg$, тоді як м'яка пшениця — $QQtgtg$. Алель q надає спелті помітно пізнього колосіння та вузьких, пірамідальних колосків з міцними лусками, що і призвело до формування таксономічно визнаного підвиду [35]. Крім того, на характер обмолоту зерна впливає тип колосової луски, яка у спелті контролюється домінантним алелем гена Tg (*Tenacious glumes*) в гомозиготному стані, який розташований на короткому плечі хромосоми 2 кожного субгену пшениці [36]. Саме цей ген у поєднанні з алелем q робить спелту «важкообмолочуваною». Оскільки обидва види є гексаплоїдами (мають шість наборів хромосом), перекомбінація алелів генів Q/q та генів Tg у нащадків дуже різноманітна, а наявність інших генів-модифікаторів, що впливають на жорсткість колосової луски, може призводити до появи ліній як з легким обмолотом, так і важким. Гібридологічний аналіз розщеплення потомства F_2 за схрещувань спелти та м'якої пшениці за характером обмолоту зерна показує, що ця ознака успадковується за типом домінантного епістазу за схемою 12 : 3 : 1 [2].

У нашому дослідженні врожайність створених ліній спелти з фіолетовим зерном у конкурсному випробуванні з 2023 по 2025 рр. варіювала від 42,2 до 63,8 ц/га (табл. 1). Сім з досліджених генотипів показали більшу врожайність, ніж сорт Зоря України. Максимальна продуктивність була у генотипів УК 3922С/23 (63,8 ц/га) і УК 3933С/23 (62,4 ц/га). Порівняно з м'якою пшеницею більшість селекційних ліній спелти поступалися їй за продуктивністю.

За врожайністю лінії УК 3999С/23, УК 3922С/23, УК 3933С/23, УК 3996С/23 істотно не відрізняються від стандарту — сорту м'якої пшениці Чорноброва, але їх продуктивність вірогідно вища ніж у стандарту — сорту спелти Зоря України. Лінії УК 3947С/23, УК 4604С/25, УК 4605С/25, УК 4606С/25, УК 4022С/23 істотно не відрізняються за врожайністю від стандарту — сорту спелти Зоря України, але їх продуктивність вірогідно менша ніж у сорту м'якої пшениці Чорноброва. Інші лінії мають врожайність істотно меншу, ніж в обох сортів-стандартів.

Дещо вищу врожайність у деяких генотипів спелти з фіолетовим зерном порівняно зі стандартом — сорту спелти Зоря України можна пояснити їх адаптивністю до навколишнього середовища. Згідно Ван та співавт. [35] відмінності у врожайності між сортами або лініями за різних умов можуть бути результатом або активації різних наборів генів, або різної реакції одних і тих самих генів на зміну умов навколишнього середовища. Так, Етича та співавт. [37] повідомили про значніший вплив навколишнього середовища, ніж генотипу, на продуктивність пшениці з фіолетовим зерном. В іншому дослідженні вивчали дві різні ізогенні лінії з фіолетовим зерном (Purple, Purple Feed) на тлі сорту S-29. Лінії, що походять від Purple Feed, істотно покращили врожайність зерна та продуктивність порівняно з S-29 [19]. Гарг та співавт. [26] продемонстрували, що кольорові сорти пшениці можна адаптувати до різних середовищ, використовуючи стратегії селекції, такі як схрещування кольорових ліній озимої пше-

АНАЛІЗ СЕЛЕКЦІЙНИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ

ТАБЛИЦЯ 1. Врожайність селекційних ліній спельти з фіолетовим зерном

Лінія	Врожайність, ц/га		
	Середнє за 2023–2025 рр.	Відхилення від сорту—стандарту	
		м'якої пшениці	спельти
Чорноброва ст.	62,1 ^a	—	—
Зоря України ст.	51,9 ^b	—	—
УК 3999С/23	59,7 ^a	–2,4	7,8
УК 3922С/23	63,8 ^a	1,7	11,9
УК 3933С/23	62,4 ^a	0,3	10,5
УК 3996С/23	60,4 ^a	–1,7	8,5
УК 3947С/23	52,7 ^b	–9,4	0,8
УК 3951С/23	47,4 ^c	–14,7	–4,5
УК 3953С/23	44,7 ^d	–17,4	–7,2
УК 4604С/25	49,9 ^b	–12,2	–2
УК 4605С/25	52,4 ^b	–9,7	0,5
УК 4606С/25	54,2 ^b	–7,9	2,3
УК 4607С/25	48,6 ^c	–13,5	–3,3
УК 4608С/25	47,4 ^c	–14,7	–4,5
УК 4609С/25	42,2 ^e	–19,9	–9,7
УК 4610С/25	46,6 ^c	–15,5	–5,3
УК 4022С/23	49,6 ^b	–12,5	–2,3
НІР _{0,05}	2,4	—	—

Примітка. Різними буквами позначені вірогідні відмінності за $p \leq 0,05$.

ниці з місцево адаптованими сортами. Внесення високих доз азоту також збільшило врожайність зерна у пшениць з фіолетовим зерном [38]. Крім того, генетична конфігурація сортів може впливати на фотоасиміляцію та налив зерна, що і своєю чергою впливає на врожайність. Численні польові експерименти також виявили зв'язок довжини колоса із врожайністю [39].

Якість зерна й хлібопекарські властивості борошна, в яких провідну роль відіграють білки зерна, — найважливіші показники для злакових культур [4]. Так, вміст білка корелює із вмістом клейковини та силою борошна. Результати вивчення вмісту білка показали значну варіабельність між досліджуваними лініями спельти (табл. 2). У проаналізованих зразків спельти вміст білка в зерні коливався у межах 15,9–18,3 %. Лінії УК 3999С/23, УК 3922С/23, УК 3933С/23, УК 3996С/23, УК 3947С/23, УК 3951С/23, УК 3953С/23, УК 4607С/25, УК 4608С/25, УК 4609С/25, УК 4610С/25, УК 4022С/23 мають істотно більший вміст білка, ніж сорт м'якої пшениці Чорноброва, але вірогідно не відрізняються від сорту спельти Зоря України. Лінії УК 4604С/25, УК 4606С/25 мають істотно менший вміст білка в зерні, ніж у сорту Зоря України, але вірогідно переважають цей показник сорту м'якої пшениці Чорноброва.

ТАБЛИЦЯ 2. Показники якості зерна селекційних ліній спельти з фіолетовим зерном (середнє за 2023—2025 рр.)

Лінія, сорт	Вміст білка, %			Збір білка з гектара, кг/га	Вміст клейковини, %	Твердозерність, од. приладу	SDS-30, мл
	Середнє за 2023—2025 рр.	Відхилення від стандарту					
		спельти	м'якої пшениці				
Чорноброва ст.	13,7 ^a	—	—	850,8 ^{a,c}	29,2 ^a	23,1 ^a	42,0 ^a
Зоря України ст.	17,5 ^b	—	—	908,2 ^a	37,7 ^b	—2,0 ^b	19,2 ^b
УК 3999С/23	16,9 ^b	—0,6	3,2	1008,9 ^b	36,5 ^b	19,5 ^c	40,5 ^a
УК 3922С/23	17,0 ^b	—0,5	3,3	1084,6 ^b	36,5 ^b	25,1 ^a	42,1 ^a
УК 3933С/23	17,4 ^b	—0,1	3,7	1085,8 ^b	37,5 ^b	26,3 ^a	38,6 ^a
УК 3996С/23	18,0 ^b	0,5	4,3	1087,2 ^b	38,9 ^b	28,7 ^d	34,3 ^c
УК 3947С/23	17,2 ^b	—0,3	3,5	906,4 ^a	37,0 ^b	—12,5 ^e	35,4 ^c
УК 3951С/23	17,7 ^b	0,2	4,0	839,0 ^c	38,2 ^b	27,2 ^d	14,2 ^d
УК 3953С/23	17,5 ^b	0	3,8	782,2 ^{c,d}	37,7 ^b	29,3 ^d	16,3 ^b
УК 4604С/25	15,9 ^c	—1,6	2,2	793,4 ^{a,c}	34,0 ^c	—15,3 ^c	42,1 ^a
УК 4605С/25	16,2 ^{b,c}	—1,3	2,5	848,9 ^{a,c}	34,7 ^{b,c}	—17,2 ^c	46,0 ^a
УК 4606С/25	15,8 ^c	—1,7	2,1	856,4 ^{a,c}	33,8 ^c	—22,0 ^e	39,3 ^a
УК 4607С/25	16,5 ^b	—1	2,8	801,9 ^{a,c}	35,4 ^{b,c}	—16,8 ^e	37,4 ^a
УК 4608С/25	17,8 ^b	0,3	4,1	843,7 ^{a,c}	38,6 ^b	28,7 ^d	18,8 ^b
УК 4609С/25	18,3 ^b	0,8	4,6	772,3 ^{c,d}	39,7 ^b	27,6 ^d	14,6 ^d
УК 4610С/25	17,3 ^b	—0,2	3,6	806,2 ^{a,c}	37,7 ^b	29,4 ^d	14,2 ^d
УК 4022С/23	18,0 ^b	0,5	4,3	892,8 ^{a,c}	39,0 ^b	29,8 ^d	14,9 ^d
НІР _{0,05}	1,3	—	—	69,0	3,0	3,2	4,0

Примітка. Різними буквами позначені вірогідні відмінності за $p \leq 0,05$.

Вміст білка в зерні спельти зазвичай вищий, ніж у м'якої пшениці, однак він значно варіює залежно від таких чинників, як генотип, місце вирощування, способи культивування та кліматичні умови [8]. Зміни у вмісті білка в зерні часто зумовлені як біотичними, так і абіотичними чинниками і безпосередньо пов'язані зі швидкістю реакції генотипів на зміни умов навколишнього середовища [40]. Цей показник у спельти може коливатися від 11 до 25 % [4]. Вищий вміст білка у спельти пов'язаний з підвищеним вмістом гліадинів, які сприяють кращій розтяжності тіста, що є однією з характерних ознак даної культури [41].

Середній вміст білка в досліджених нами лініях спельти був значно вищий, ніж у м'якої пшениці, що підтверджується даними інших дослідників [35, 42]. У нашому дослідженні найбільший вміст білка було зафіксовано у лінії УК 4609С/25 (18,3 %), УК 4022С/23 (18,0 %), УК 3996С/23 (18,0 %), що робить їх найперспективнішими генотипами, оскільки високий вміст білка підвищує їхню харчову цінність, покращує хлібопекарські властивості [43].

Також нами була визначена така характеристика, як збір білка з гектара посіву (див. табл. 2), який є добутком показників вмісту білка

в зерні на врожайність зерна. Найвищим цей показник був у лінії УК 3999С/23, УК 3922С/23, УК 3933С/23, УК 3996С/23 завдяки кращому поєднанню показника вмісту білка в зерні та врожайності. Ці лінії мають істотно більший збір білка з гектара, ніж обидва сорти-стандарту. Лінія УК 3951С/23 має істотно менший збір білка з гектара, ніж сорт спельти Зоря України, але вірогідно не відрізняється від сорту м'якої пшениці Чорноброва. Лінії УК 4604С/25, УК 4605С/25, УК 4606С/25, УК 4607С/25, УК 4608С/25, УК 4610С/25, УК 4022С/23 вірогідно не відрізняються від сорту пшениці Чорноброва.

Клейковина — це безперервна білкова в'язкопружна мережа, яка утворюється, коли борошно механічно змішується з водою, і є важливим параметром, що визначає якість випічки, оскільки впливає на водопоглинальну здатність, когезивність, в'язкість і еластичність тіста. У сортах спельти виявлено вищий вміст клейковини порівняно з пшеницею, проте її якість нижча, що пов'язано з підвищенням вмістом гліадинів, тоді як у клейковині м'якої пшениці переважають глютеніни [41]. Всі лінії спельти перевищували сорт-стандарт м'якої пшениці Чорноброва за цим показником. Вміст клейковини в зерні різних ліній спельти коливався від 33,8 до 39,7 %. Найвищий її вміст (39,7 %) був у лінії УК 4609С/25. За вмістом клейковини лінії УК 3999С/23, УК 3922С/23, УК 3933С/23, УК 3996С/23, УК 3947С/23, УК 3951С/23, УК 3953С/23, УК 4608С/25, УК 4609С/25, УК 4610С/25, УК 4022С/23 істотно не відрізняються від сорту спельти Зоря України. Лінії УК 4604С/25 і УК 4606С/25 мають значно менший вміст клейковини ніж сорт спельти Зоря України, але вірогідно більший, ніж у сорту пшениці Чорноброва.

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*, який робить ендосперм твердим [44]. Твердозерна пшениця цінна для хлібопекарської промисловості тому, що під час помелу у неї утворюється велика кількість пошкоджених гранул крохмалю, що приводить до більшого поглинання та утримування 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 [4].

Відомо, що твердозерність спельти може коливатись у широких межах [45]. У досліджених нами ліній спельти середній показник твердозерності широко варіював від позитивного значення (+29,8) до негативного (–22,0). Лінії УК 3922С/23 та УК 3933С/23 мають істотно більшу твердозерність, ніж сорт спельти Зоря України, але вірогідно не відрізняються від сорту пшениці Чорноброва. У ліній УК 3947С/23, УК 4604С/25, УК 4605С/25, УК 4606С/25, УК 4607С/25 цей показник істотно менший, ніж у обох сортів-стандартів. Показано, що м'які зерна спельти характеризуються нижчим ступенем адгезії між крохмальними гранулами та білковою матрицею, і таким чином утворюється вища масова частка дрібних частинок [46]. Отри-

маний результат свідчить про те, що у цих селекційних ліній білки не були міцно зв'язані в крохмальних гранулах.

Слід зазначити, що варіації пуринолінів (*a* та *b*), які визначають текстуру зерна, яка впливає на властивості його помелу та водопоглинальні властивості борошна, у спельти мало вивчені [41]. Наразі не зареєстровано жодного зразка спельти, який би містив алелі, відмінні від диких (*Pina-D1a* та *Pinb-D1a*).

Важливо поєднувати селекцію, спрямовану на підвищення вмісту білка в зерні, з поліпшенням його технологічних характеристик. Найпоширенішим методом непрямой оцінки технологічної якості зерна пшениці є метод седиментації SDS-30, який базується на набуханні та осадженні білків клейковини у розчині додецилсульфату натрію (SDS). Цей показник, також відомий як індекс седиментації, використовується в селекції для швидкого прогнозування «сили» борошна та хлібопекарських властивостей майбутнього сорту на ранніх етапах добору. Такий метод дає змогу точно визначити відмінності між зразками, а його показник має високу кореляцію з основними якісними характеристиками — «силою» борошна та показником еластичності тіста. Високий індекс седиментації SDS-30 вказує на високу хлібопекарську якість борошна. Цей показник у проаналізованих нами ліній спельти коливався у межах від 14 до 46 мл (див. табл. 2). Лінії УК 3922С/23, УК 3999С/23, УК 4606С/25, УК 3933С/23, УК 3947С/23, УК 4605С/25, УК 4607С/25, УК 4604С/25 істотно не відрізняються за індексом седиментації від сорту м'якої пшениці Чорноброва, але вірогідно переважають сорт спельти Зоря України. Лінії УК 3953С/23 та УК 4608С/25 істотно не відрізняються за цим показником від сорту Зоря України, але мають показник вірогідно менший, ніж у сорту м'якої пшениці Чорноброва. Лінії УК 3951С/23, УК 4609С/25, УК 4610С/25, УК 4022С/23 характеризуються індексом седиментації значно меншим, ніж у обох стандартів. Наші результати підтверджують висновок, що індекс седиментації у спельти нижчий, ніж у м'якої пшениці [47—49].

Нами також було проведено порівняння хлібопекарських характеристик кращих селекційних ліній спельти з фіолетовим зерном із сортом червонозерної спельти Зоря України та сортом озимої пшениці високої хлібопекарської якості Наталка (табл. 3). Лінії спельти з фіолетовим зерном УК 3922С/23, УК 3933С/23, УК 3999С/23 та УК 4605С/25 мали вищу, ніж сорт-стандарт спельти Зоря України загальну хлібопекарську оцінку — 5,9—6,5. Пружність тіста у проаналізованих генотипів коливалась у межах 38—51 мм; сила борошна змінювалась від 158 до 183 а.о., індекс еластичності — від 43,4 до 46,0 %, об'єм хліба — від 620 до 740 мл, водопоглинальна здатність — від 57,2 до 65,4 %. Лінії спельти УК 3922С/23, УК 3933С/23 і УК 4605С/25 мали більшу водопоглинальну здатність, ніж сорт м'якої пшениці Наталка, що узгоджується з даними літератури [17], де зразки спельти з вищим вмістом білка, зазвичай, мають вищу водопоглинальну здатність. Фактично, за всіма показниками хлібопекарської якості борошно ліній спельти з фіолетовим зерном поступається пшеничному (табл. 3). Одні з найвищих показників за всіма проаналізованими

АНАЛІЗ СЕЛЕКЦІЙНИХ ЛІНІЙ ПШЕНИЦІ СПЕЛЬТИ

ТАБЛИЦЯ 3. Показники хлібопекарської якості селекційних ліній спельти з фіолетовим зерном

Сорт	Пружність тіста (P), мм	P/L	W о.а.	Індекс еластичності, %	ВПЗ, %	Об'єм хліба, мл	Загальна оцінка хліба, бали
Наталка	62	0,6	236	52,3	57,8	880	7,0
Зоря України	23	0,2	37	21,5	55,8	560	5,3
УК 3922С/23	47	0,3	167	45,3	64,0	650	6,1
УК 3933С/23	44	0,2	183	45,6	65,4	740	6,5
УК 3999С/23	51	0,3	176	46,0	60,2	720	6,3
УК 4605С/25	38	0,2	158	43,4	63,1	620	5,9
НІР _{0,05}	2,4	0,02	8,1	6,0	4,2	49,1	0,6

параметрами мала лінія УК 3933С/23, у якої був відносно високий показник седиментації (порівняно з іншими лініями), що дає змогу зробити висновок про її кращі хлібопекарські властивості порівняно з рештою досліджених ліній і сортом-стандартом спельти Зоря України.

Нами також проведено кореляційний аналіз для виявлення залежності між врожайністю та показниками якості зерна спельти з фіолетовим зерном (табл. 4, рис. 2). Виявлено позитивну кореляцію між індексом седиментації і врожайністю ($r = 0,71$); врожайністю та збором білка з гектара ($r = 0,83$), який зумовлений винятково впливом врожайності. Показана негативна кореляція між вмістом білка та седиментацією SDS-30 ($r = -0,64$), що відповідає даним щодо незалежності прояву цих ознак. Між врожайністю та вмістом білка також показана слабка негативна кореляція ($r = -0,40$), що підтверджує результати інших дослідників [50].

Таким чином, проведено комплексний аналіз 15 створених нами селекційних ліній пшениці спельти з фіолетовим зерном за господарсько-цінними ознаками. Показано, що лінії мають значні відмінності за характером обмолоту зерна, і виділено генотипи з легким (80 %) обмолотом. Порівняно з м'якою пшеницею більшість селекційних ліній спельти поступались їй за продуктивністю. Встановлено, що 12 ліній мають істотно більший вміст білка в зерні, ніж сорт м'якої пшениці Чорноброва, але вірогідно не відрізняються від сорту спельти Зоря України. Виділено лінії УК 3996С/23 і УК 3933С/23, які поєднували високі продуктивність (60,4–62,4 ц/га) і вміст білка

ТАБЛИЦЯ 4. Коефіцієнти кореляції між різними ознаками генотипів спельти

Пари ознак	Коефіцієнт кореляції
SDS-30 — врожайність	0,71
Вміст білка — SDS-30	-0,64
Врожайність — збір білка з гектара	0,83
SDS-30 — збір білка з гектара	0,40
Врожайність — вміст білка	-0,40

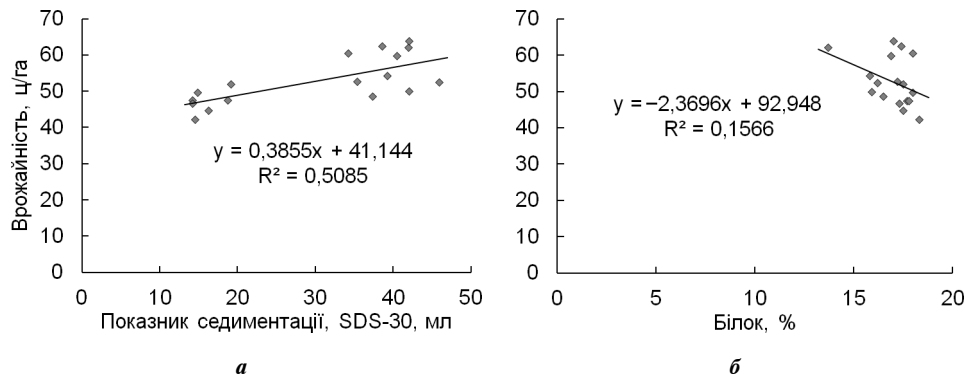


Рис. 2. Залежності між показником седиментації і врожайністю (а), врожайністю і вмістом білка (б)

(17,4—18,0%). Лінії УК 3999С/23, УК 3922С/23, УК 3933С/23, УК 3996С/23 показали істотно більший збір білка з гектара, ніж обидва сорти-стандарти. За вмістом клейковини більшість ліній вірогідно не відрізняються від сорту спельти Зоря України. У генотипів спельти середній показник твердозерності широко варіював від позитивного значення (+29,8) до негативного (–22). Наші результати підтверджують висновок, що індекс седиментації у спельти нижчий, ніж у м'якої пшениці. Лінії спельти мали вищу, ніж у сорту Зоря України, загальну хлібопекарську оцінку — 5,9—6,5. Підтверджено, що зразки спельти з вищим вмістом білка, зазвичай, мають вищу водопоглинальну здатність. Фактично за всіма показниками хлібопекарської якості борошно ліній спельти з фіолетовим зерном поступається пшеничному. Одні з найвищих показників за всіма проаналізованими параметрами мала лінія УК 3933С/23, яку було передано в Державне сортовипробування як сорт спельти Добра новина.

Внесок авторів: концепція та дизайн дослідження — О.М. Радченко, О.В. Дубровна, Н.В. Сандецька; отримання даних — О.М. Радченко, Н.В. Сандецька; аналіз та інтерпретація результатів — О.М. Радченко, О.В. Дубровна; підготовка рукопису — написання первинного тексту статті — О.М. Радченко, О.В. Дубровна, Н.В. Сандецька; підготовка рукопису — перегляд і редагування — О.М. Радченко, О.В. Дубровна.

Всі автори переглянули і схвалили остаточну версію рукопису.

Конфлікт інтересів: автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

REFERENCES

1. Chrpova, J., Grausgruber, H., Weyermann, V., Buerstmayr, M., Palicova, J., Kozova, J., Travnickova, M., Nguyen, Q.T., Amores, J.E.M., Buerstmayr, H. & Janovska, D. (2021). Resistance of winter spelt wheat [*Triticum aestivum* subsp. *spelta* (L.) Thell.] to fusarium head blight. *Front. Plant. Sci.*, 12:661484. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.661484>
2. 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, No. 3, pp. 463-468. <https://doi.org/10.15421/022465>
3. 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 1 qual-

- ity in spelt and common wheat. *J. Agric. Food Chem.*, 71, No. 28, pp. 10598-10606. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c02365>
4. 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. rast. genet.*, 56, No. 5, pp. 419-430. <https://doi.org/10.15407/frg2024.05.419> [in Ukrainian].
 5. 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, No. 4, 389. <https://doi.org/10.3390/pr8040389>
 6. 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>
 7. Geisslitz, S., Longin, C.F.H., Scherf, K. & 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, No. 9, 409. <https://doi.org/10.3390/foods8090409>
 8. Porto, A.L., Ingraffia, R., Amato, G., Frenda, A.S., Gargano, G., Guarino, S., Ruisi, P., Viola, E., Settanni, L. & Giambalvo, D. (2025). Evaluation of einkorn, emmer and spelt genotypes through an integrated approach: Agronomic performance, chemical composition, aromatic profile, bread characteristics and consumers' perception. *J. Cereal Sci.*, 104303. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104303>
 9. Valsalan, A., Hucl, P. & Malalgoda, M. (2025). Evaluating the breadmaking potential of wholemeal flours from einkorn, emmer, and spelt grown in the Canadian prairies. *Cereal Chem.*, 102, No. 3, pp. 506-519. <https://doi.org/10.1002/cche.10865>
 10. 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, No. 3, pp. 857-863. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.02.047>
 11. Hammed, A.M. & Simsek, S. (2014). Hulled wheats: a review of nutritional properties and processing methods. *Cereal Chem.*, 91, No. 2, pp. 97-104. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-09-13-0179-RW>
 12. 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, No. 3, pp. 443-453. <https://doi.org/10.2298/HEMIND120606083F>
 13. Kohajdová, Z. & Karovičová, J. (2008). Nutritional value and baking applications of spelt wheat. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 7, No. 3, pp. 5-14.
 14. Longin, C.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, No. 3:2770. <https://doi.org/10.3390/ijms24032770>
 15. Boukid, F., Folloni, S., Sforza, S., Vittadini, E. & Prandi, B. (2018). Current Trends in Ancient Grains-Based Foodstuffs: Insights into Nutritional Aspects and Technological Applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 17, No. 1, pp. 123-136. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12315>
 16. Rodríguez-Quijano, M., Vargas-Kostiuk, M.E., Ribeiro, M. & Callejo, M.J. (2019). *Triticum aestivum* ssp. *vulgare* and ssp. *spelta* cultivars. 1. Functional evaluation. *Eur. Food Res. Technol.*, 245, pp. 1561-1570. <https://doi.org/10.1007/s00217-019-03263-7>
 17. Frakolaki, G., Giannou, V., Topakas, E. & Tzia, C. (2018). Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. *J. Cereal Sci.*, 79, pp. 50-56. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.08.023>
 18. Koenig, A., Konitzer, K., Wieser, H. & Koehler, P. (2015). Classification of spelt cultivars based on differences in storage protein compositions from wheat. *Food Chem.*, 168, pp. 176-182. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.040>
 19. Garg, M., Kaur, S., Sharma, F., Kumari, A., Tiwari, V., Sharma, S., Kapoor, P., Sheoran, B., Goyal, A. & Krishania, M. (2022). Rising demand for healthy anthocyanin biofortified colored wheat is a new research trend. *Front. Nutr.*, 9, pp. 1-23. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.878221>
 20. Gamel, T.H., Saeed, S.M.G., Ali, R. & Abdel-Aal, E.-S.M. (2023). Purple Wheat: Food Development, Anthocyanin Stability, and Potential Health Benefits. *Foods*, 12, 1358. <https://doi.org/10.3390/foods12071358>

21. Lin, B., Gong, C., Song, H. & Cui, Y. (2017). Effects of anthocyanins on the prevention and treatment of cancer. *Br. J. Pharmacol.*, 174, pp. 1226-1243. <https://doi.org/10.1111/bph.13627>
22. Cerletti, C., De Curtis, A., Bracone, F., Diges, C., Morganti, A. & Iacoviello, L. (2016). Dietary anthocyanins and health: data from Flora and Athena EU projects. *Br. J. Clin. Pharmacol.*, 83, pp. 103-106. <https://doi.org/10.1111/bcp.12943>
23. Dhua S., Kumar K., Kumar Y., Singh L. & Sharanagat V.S. (2021). Composition, characteristics and health promising prospects of black wheat: a review. *Trends Food Sci. Technol.*, 112, pp. 780-794. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.037>
24. Sharma, S., Khare, P., Kumar, A., Chunduri, V., Kumar, A., Kapoor, P., Mangal, P., Kondepudi, K.K., Bishnoi, M. & Garg, M. (2020). Anthocyanin-biofortified colored wheat prevents high fat diet-induced alterations in mice: Nutrigenomics studies. *Mol. Nutr. Food Res.*, 64, 1900999. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201900999>
25. Abdel-Aal, E.-S.M., Hucl, P. & Rabalski, I. (2018). Compositional and antioxidant properties of anthocyanin-rich products prepared from purple wheat. *Food Chem.*, 254, pp. 13-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.170>
26. Garg, M., Chawla, M., Chunduri, V., Kumar, R., Sharma, S., Sharma, N.K., Kaur, N., Kumar, A., Munday, J.K. & Saini, M.K. (2016). Transfer of grain colors to elite wheat cultivars and their characterization. *J. Cereal Sci.*, 71, pp. 138-144. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.004>
27. Knievel, D.C., Abdel-Aal, E.S., Rabalski, I., Nakamura, T. & Hucl, P. (2009). Grain color development and the inheritance of high anthocyanin blue aleurone and purple pericarp in spring wheat (*Triticum aestivum* L.). *J Cereal Sci.*, 50, No. 1, pp. 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.03.007>
28. Jiang, W., Liu, T., Nan, W., Jeewani, D.C., Niu, Y., Li, C., Wang, Y., Shi, X., Wang, C., Wang, J., Li, Y., Gao, X. & Wang, Z. (2018). Two transcription factors TaPpm1 and TaPpb1 co-regulate anthocyanin biosynthesis in purple pericarps of wheat. *J. Exp. Bot.*, 69, No. 10, pp. 2555-2567. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery101>
29. Singh, K., Ghai, M., Garg, M., Chhuneja, P., Kaur, P. & Schnurbusch, T. (2007). An integrated molecular linkage map of diploid wheat based on a *Triticum boeoticum* x *T. monococcum* RIL population. *Theor. Appl. Genet.*, 115, pp. 301-312. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0543-z>
30. Martinek, P., Jirsa, O., Vaculova, K., Chrpova, J., Watanabe, N. & Burešova, V. (2014). Use of wheat gene resources with different grain colour in breeding. *Proc. Tagungsband der 64 Jahrestagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. Raumberg-Gumpenstein*, 64, pp. 75-78. <https://www.researchgate.net/publication/259990697>
31. Rybalka O.I., Morhun V.V., Morgun B.V., Polishchuk S.S. (2025). For the first time in thousands of years: colored cereal grains as the functional food of the future. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.*, 7, pp. 7-27. <https://doi.org/10.15407/visn2025.07.007> [in Ukrainian].
32. Rybalka, O.I. (2011). Quality of wheat and her improvement. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
33. Tkachyk, S.O., Kyienko, Z.B. & Prysyzhnyuk, L.M. (Eds.). (2016). Methodology for conducting qualification assessments of plant varieties for suitability for distribution in Ukraine. Methods for determining the quality indicators of crop production. Vinnytsia: Ukrainian Institute for Plant Variety Testing [in Ukrainian].
34. 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].
35. Wang, Y., Wang, Z., Chen, Y., Lan, T., Wang, X., Liu, G., Xin, M., Hu, Z., Yao, Y., Ni, Z. & Sun, Q. (2024). Genomic insights into the origin and evolution of spelt (*Triticum spelta* L.) as a valuable gene pool for modern wheat breeding. *Plant Communications*, 5, No. 5, 100883. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2024.100883>
36. Alvarez, J.B. (2021). Spanish Spelt Wheat: From an Endangered Genetic Resource to a Trendy Crop. *Plants*, 10, No. 12:2748. <https://doi.org/10.3390/plants10122748>
37. Eticha, F., Grausgruber, H., Siebenhandl-Ehn, S. & Berghofer, E. (2011). Some agronomic and chemical traits of blue aleurone and purple pericarp wheat (*Triticum* L.). *J. Agric. Sci. Technol.*, 1, pp. 48-58.
38. Ma, D., Zhang, J., Hou, J., Li, Y., Huang, X., Wang, C., Lu, H., Zhu, Y., Guo, T. (2018). Evaluation of yield, processing quality, and nutritional quality in different colored wheat grains under nitrogen and phosphorus fertilizer application. *Crop Sci.*, 58, pp. 402-415. <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.03.0152>

39. Rasool, G. (2021). Morphological evaluation of wheat genotypes for grain yield under arid environment of Balochistan. *Pure Appl. Biol.*, 10, No. 4, pp. 1441-1449. <https://doi.org/10.19045/bs.pab.2021.100150>
40. Hafeez, M.B., Ghaffar, A., Zahra, N., Ahmad, N., Shair, H., Farooq, M. & Li, J. (2024). Exogenous application of plant growth regulators improves economic returns, grain yield and quality attributes of late-sown wheat under saline conditions. *Int. J. Plant Prod.*, 18, No. 2, pp. 217-228. <https://doi.org/10.1007/s42106-024-00285-4>
41. Takač, V., Tóth, V., Rakszegi, M., Mikić, S., Mirosavljević, M. & Kondić-špika, A. (2021). Differences in processing quality traits, protein content and composition between spelt and bread wheat genotypes grown under conventional and organic production. *Foods*, 10, No. 1, 156. <https://doi.org/10.3390/FOODS10010156>
42. Iqbal, A., Ahmad, N., Roman, M., Hlisnikovský, L., Jiří, H. & Hejcman, G. (2026) Performance assessment of diverse spelt wheat (*Triticum spelta* L.) genotypes across three years seasons in Central Europe. *Int. J. Plant Prod.*, 20(1), 28. <https://doi.org/10.1007/s42106-026-00412-3>
43. Fatiukha, A., Filler, N., Lupo, I., Lidzbarsky, G., Klymiuk, V., Korol, A.B., Pozniak, C., Fahima, T. & Krugman, T. (2020). Grain protein content and thousand kernel weight QTLs identified in a durum × wild emmer wheat mapping population tested in five environments. *Theor. Appl. Genet.*, 133, No. 1, pp. 119-131. <https://doi.org/10.1007/S00122-019-03444-8/METRICS>
44. 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>
45. 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, No. 4, 761. <https://doi.org/10.3390/foods10040761>
46. Świeca, M., Dariusz, D., Gawlik-Dziki, U., Różyło, R., Andruszczak, S., Kraska P., Kowalczyk, D., Pałys, E. & Baraniak B. (2014). Grinding and Nutritional Properties of Six Spelt (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) Cultivars. *Cereal Chem.*, 91, No. 3, pp. 247-254. <https://doi.org/10.1094/CHEM-02-13-0019-R>
47. Podolska, G., Aleksandrowicz, E. & Szafrńska, A. (2020). Bread making potential of *Triticum aestivum* and *Triticum spelta* species. *Open Life Sci.*, 15, No. 1, pp. 30-40. <https://doi.org/10.1515/biol-2020-0004>
48. Tóth, V., Láng, L., Vida, G., Mikó, P. & Rakszegi, M. (2022). Characterization of the protein and carbohydrate related quality traits of a large set of spelt wheat genotypes. *Foods*, 11, No. 14, 2061. <https://doi.org/10.3390/FOODS11142061/S1>
49. Morgun, V.V., Radchenko, O.M. & Dubrovna, O.V. (2025). Spelt wheat: biological properties and economic significance. *Fiziol. rosl. genet.*, 57, No. 2, pp. 117-136. <https://doi.org/10.15407/frg2025.02.117> [in Ukrainian].
50. 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>

Отримано 06.04.2026. Схвалено до друку 22.04.2026. Опубліковано 08.05.2026

ANALYSIS OF SPELT WHEAT BREEDING LINES WITH PURPLE GRAINS FOR PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY

O.M. Radchenko, O.V. Dubrovna, N.V. Sandetska

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

Starting from the 1990s, a fundamentally new trend began to emerge in the breeding of wheat and other grain crops — the creation of varieties with colored (purple, blue, black) grain, which is now gaining momentum in many countries of the world, including Ukraine.

This is a new area of research aimed at significantly improving the nutritional characteristics of grain by biofortification with bioactive pigments anthocyanins with a high level of antioxidant activity. The Institute of Plant Physiology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine has launched large-scale programs to create breeding material to obtain new varieties of bread wheat and spelt wheat with colored grain and significantly improved nutritional functional status of grain due to high antioxidant activity. In this regard, the aim of our work was to analyze the obtained by us breeding lines of spelt wheat with purple grain for productivity and grain quality. The bread wheat variety Chornobrova and the spelt wheat variety Zorya Ukrainy were used as standards. Among the studied lines, genotypes with easy (80 %) threshing of grain were identified. It was shown that most breeding lines are inferior to bread wheat in productivity. It was found that 12 genotypes have a significantly higher protein content than the bread wheat variety Chornobrova, but do not differ significantly from the Zorya Ukrainy spelt variety. Lines UK 3999N/23, UK 3922N/23, UK 3933N/23, UK 3996N/23 showed significantly higher protein yield per hectare than the standard varieties of spelt and bread wheat. In terms of gluten content, most lines do not significantly differ from the spelt variety Zorya Ukrainy. It was found that the average hardness index of spelt lines varies widely from a positive (+29.8) to a negative (–22.0) value. It was shown that the sedimentation index of spelt is lower than that of bread wheat. In terms of all indices of the flour baking quality, the studied spelt lines are inferior to wheat, but have a higher overall baking score than the Zorya Ukrainy spelt variety. It was confirmed that spelt samples with a higher protein content are characterized by a higher water absorption capacity. Based on the results of many years of selection, a new spelt variety with purple grain «Dobra Novina» was submitted to the State Variety Testing.

Key words: *Triticum spelta* L., breeding lines, purple grain, productivity, grain quality.

ORCID

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>

Н.В. САНДЕЦЬКА — N.V. Sandetska <https://orcid.org/0000-0002-0558-2295>