

<https://doi.org/10.15407/frg2024.05.419>

УДК 575.113.2:577.112.82

УНІКАЛЬНА ПШЕНИЦЯ СПЕЛЬТА (*TRITICUM AESTIVUM* SSP. *SPELTA* L.) З ТЕМНО-ФІОЛЕТОВИМ ЗЕРНОМ

О.І. РИБАЛКА^{1,2}, С.С. ПОЛІЩУК¹, М.В. ЧЕРВОНІС¹, В.В. МОРГУН²,
Б.В. МОРГУН^{2,3}

¹Селекційно-генетичний інститут—Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення Національної академії аграрних наук України

65036 Одеса, Овідіопольська дорога, 3

²Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України
03022 Київ, вул. Васильківська, 31/17

³Інститут клітинної біології та генетичної інженерії Національної академії наук України

03143 Київ, вул. Академіка Заболотного, 148

e-mail: molgen@icbge.org.ua

Харчові продукти із борошна стародавньої пшениці спельти сьогодні досить популярні у світі і їх привабливість для споживача зростає, про що свідчить розширення посівних площ під пшеницею спельтою. За харчовими характеристиками, такими як вміст у зерні вітамінів і мінералів, розчинного засвоюваного протеїну, антиоксидантною активністю зерна, нижчою імунореактивністю глютену, приємним смаком харчових продуктів, пшениця спельта переважає сучасні високоврожайні сорти пшениці. Метою роботи було створення пшениці спельти з поліпшеними харчовими характеристиками за рахунок перенесення в її геном генів хлібопекарської пшениці, які контролюють фіолетове забарвлення зерна. У якості донора фіолетового забарвлення був використаний сорт пшениці Чорноброва з фіолетовим кольором зерна. В результаті проведення шести перерваних бекросів пилком оригінальної пшениці спельти Schwabensohn і добром генотипів з фіолетовим зерном вперше в Україні було отримано унікальну пшеницю спельту з темно-фіолетовим зерном. Створений сорт пшениці спельти з темно-фіолетовим зерном занесений до Держреєстру сортів України під назвою Білбері. Млинарі товариства «Дар млин Закарпаття» та пекарі ТМ «Мамин хліб» компанії «Biligrain» опрацювали технологію помелу зерна пшениці спельти сорту Білбері у якісне цільне борошно, придатне для виготовлення цілої серії харчових продуктів з темно-коричневим 100 % натуральним кольором і підвищеною харчовою цінністю зерна. Харчові продукти із кольорового зерна пшениці спельти вперше з'явилися на продовольчому ринку України.

Ключові слова: *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L., спельта, поліпшення харчових характеристик, сорт з темно-фіолетовим зерном.

Пшениця спельта (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) є плівчастим різновидом м'якої пшениці (*Triticum aestivum* L.), має з нею тісну генетич-

Цитування: Рибалка О.І., Поліщук С.С., Червоніс М.В., Моргун В.В., Моргун Б.В. Унікальна пшениця спельта (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) з темно-фіолетовим зерном. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. 56, № 5. С. 419–430. <https://doi.org/10.15407/frg2024.05.419>

ну подібність і містить гексаплоїдний набір хромосом (AABBDD, $6x=2n=42$). Істотна різниця між ними полягає у тому, що зерно спельти щільно оповите жорсткою плівкою, морфологічні особливості якої контролюються мутаціями у двох локусах [1]. Спельта належить до групи так званих стародавніх пшениць і з огляду на її еволюційну хронологію є «наймолодшою» на кілька тисяч років порівняно з іншими стародавніми пшеницями, такими як диплоїдна однозернянка і тетраплоїдний емер [2]. Спельта, імовірно, є продуктом схрещування м'якої пшениці та пшениці емеру [3].

Дикорослі пшениці включно зі спельтою наразі становлять солідний світовий потенціал для вирощування в умовах органічного, біодинамічного чи екстенсивного землеробства та характеризуються високим і зростаючим попитом у світового споживача, орієнтованого на здорове харчування. Спельта має досить високий адаптивний потенціал до умов вирощування й особливо добре придатна для органічного землеробства. Тому не випадково площі посіву спельти істотно зросли за останні роки [4]. Спельта, на відміну від сучасних високоінтенсивних сортів пшениці, не потребує досконаліх новітніх технологій вирощування, спрямованих на підвищення урожаю і технологічної якості борошна, стійкості до фітозахворювань і шкідників, толерантності до абіотичних стресів тощо. Вона є природною дикорослою пшеницею, до якої не доторкнулася сучасна селекція, і навіть менше ніж сучасні сорти пшениці реагує на зміни клімату та погіршення родючості ґрунту [6].

Є ще багато інших чинників, які свідчать на користь спельти й водночас проти сучасних сортів пшениці. Так, з підвищенням урожайності фіксується зниження харчової цінності зерна сучасних сортів пшениці та посилення алергенності його компонентів, особливо глютену (клейковини), імунореактивність якого в сучасних сортах істотно вища, аніж у спельти, і пов'язана з інтенсивною селекцією на хлібопекарську якість. Клінічні дослідження вказують на те, що на відміну від стародавніх пшениць, внаслідок вживання сучасних сортів пшениці спостерігається посилення запальних явищ, які індукуються компонентами зерна в цілком здорових осіб [5]. Нині є доволі фактів, які свідчать, що поживні характеристики зерна спельти кращі аніж у сучасних сортів пшениці [2]. Навіть плівка, що тісно огортає зерно спельти, відіграє позитивну роль у захисті зерна від накопичення шкідливих для здоров'я хімікатів і мікотоксинів [6].

Хліб з борошна спельти гідно заслужив такі епітети як здоровий і більш натуральний, ніж хліб із борошна сучасних сортів пшениці. Зерно спельти містить більше як загального, так і розчинного (засвоюваного) протеїну, більше цінних ліпідів, цінних мінералів (Mg, P, Fe, Cu, Zn) та розчинної дієтичної клітковини, ніж сучасні сорти пшениці. Спельта має у 8–10 разів вищий вміст резистентного крохмалю, подібного за властивостями до розчинної дієтичної клітковини [7–9], вищий за сучасні сорти вміст факторів антиоксидантної активності, таких як фолати, алкілрезорциноли й фітостероли [10]. Спельта переважає сучасну пшеницю за вмістом у зерні селену [11]. І що особливо важливо для засвоювання мінералів, містить фітинову

кислоту, яка хелатує (зв'язує у незасвоєвану форму) мінерали на 40 % менше, ніж у сучасних сортів, а отже, у неї не лише високий вміст мінералів, а й вища їх засвоєваність [12].

За хлібопекарськими характеристиками спельта поступається сучасним сортам, оскільки останні системно поліпшуються за хлібопекарською якістю у селекційних програмах. Незважаючи на вищий, ніж у звичайної пшениці вміст у зерні протеїну і клейковини, хлібопекарська якість цих компонентів у спельти нижча, ніж у сучасних сортів пшениці [6]. Разом з тим хлібопекарську якість борошна спельти можна істотно поліпшити такими добавками як аскорбінова і лимонна кислоти, ферменти ксиланаза, трансглютаміназа [11]. Однак борошно спельти прекрасно підходить для виробництва продуктів, які не потребують високих хлібопекарських характеристик, таких як бісквіти, крекери, причому, для цих продуктів борошно спельти навіть ліпше, ніж борошно сучасних сортів [11].

Таким чином, якщо орієнтуватися на характеристики спельти як продукту здорового харчування, то за важливими характеристиками харчової цінності зерна вона переважає сучасні сорти пшениці, й безумовно, навіть незважаючи на нижчу врожайність, цілком гідно може конкурувати із сучасними сортами на ринку харчових продуктів, що фактично підтверджують наявні статистичні дані про популярність спельти та зростання площ її посівів [4]. А от інформацію щодо питання чи можливо ще поліпшити харчову цінність спельти і як саме ми ще й досі не знайшли серед доступної нам численної наукової літератури, присвяченої пшениці спельті.

В нашій роботі з поліпшення харчової цінності спельти ми виходили з наступних передумов. Сьогодні у світі особливо набувають популярності кольорові сорти пшениці із фіолетовим, синім і чорним забарвленням зерна, яке зумовлене наявністю в його оболонці й алейроновому шарі кольорових поліфенольних пігментів антоціанінів з високою антиоксидантною активністю. Це новітній світовий тренд досліджень, спрямований на істотне поліпшення харчових характеристик сортів пшениці шляхом біофортificaції біоактивними пігментами антоціанінами [13]. Серед відомих сьогодні сортів спельти ми не знайшли жодних свідчень про існування її сортів з кольоровим зерном. Тому метою нашої роботи було створення такої пшениці спельти.

Методика

Польові дослідження виконували на дослідному полі Селекційно-генетичного інституту—Національного центру насіннезнавства та сортовивчення (СП—НЦНС) Національної академії аграрних наук України (м. Одеса). Як дослідний матеріал для схрещувань використовували озиму спельту Schwabencorn (Німеччина) та сорт Чорноброва з фіолетовим зерном селекції СП—НЦНС. Для порівняльних аналізів використовували сорт озимої м'якої пшениці високої хлібопекарської якості Адмірал селекції СП—НЦНС та рекомбінантну лінію пшениці з делецією субодиниці *Glu-D1x5* високомолекулярних глютенінів.

У дослідному матеріалі (весь озимого типу розвитку) визначали базові ознаки хлібопекарської й борошномельної якості, які використовуються у селекційних програмах при оцінці селекційного матеріалу пшениці на якість: вміст у зерні протеїну, тест Zeleny, SDS-30К седиментація та індекси альвеограми тіста, електрофоретичний аналіз клейковинних білків зерна, твердість зерна.

Технологічна оцінка дослідного матеріалу пшениці здійснювалася у відповідності з методичними рекомендаціями ВАСГНІЛ, прийнятими як стандартні лабораторні процедури у відділі генетичних основ селекції СГІ—НЦНС [14].

Твердість зерна та вміст у зерні протеїну (на абсолютно суху речовину) визначали за допомогою інфрачервоного аналізатора Inframatic 8611 (Perten, Sweden).

Індекси SDS-30К седиментації (у кислому середовищі) борошна визначали з використанням протоколу розробленої нами 2-етапної лабораторної процедури (деклараційний патент № 17023) на напівавтоматичному, з керованими мікропроцесором 5-ма циклами ротації блок-паketу із 16 дослідними зразками. Прилад власного дизайну, виготовлений в СГІ—НЦНС (патент на корисну модель № 65644) [15].

Електрофоретичний аналіз білків зерна виконували із застосуванням стандартних методичних протоколів А-PAGE та mini-SDS-PAGE, розроблених у відділі генетичних основ селекції СГІ—НЦНС [16].

Вміст пігментів антоціанінів визначали спектрофотометрично за прискореною процедурою [17].

Результати та обговорення

Пшениця спельта цінна за харчовими характеристиками саме своїм походженням як недоторкана сучасною селекцією стародавня пшениця. Порушення цього фундаментального статусу спельти звело би нанівець її унікальну харчову цінність, що неприпустимо. Тому наше завдання з поліпшення харчової цінності спельти полягало в перенесенні в її геном лише ознаки «фіолетове зерно» від створеного нами раніше донора цієї ознаки сорту хлібопекарської пшениці Чорноброва, залишивши при цьому первісний статус спельти максимально недоторканим. Таку маніпуляцію можна виконати звичайною традиційною селекцією з використанням кількох перерваних бекросів із системним ретельним контролем морфологічних ознак оригінальної спельти та цільової ознаки «фіолетове зерно».

Перше схрещування спельта (♀) Schwabekorn × Чорноброва (♂) було виконане у 2009 р., отримано насіння F₁. У 2010 р. спельта Schwabekorn (♀) була запилена пилком гібрида F₁ (♀) Schwabekorn × Чорноброва (♂) і отримано насіння від першого бекросу BC₁. У 2011 р. отримано насіння BC₁/F₂ і паралельно (♀) Schwabekorn була запилена пилком рослин BC₁/F₂ (рандомізовано). Серед рослин BC₁/F₂ дібрано рослини з морфологічними ознаками спельти і фіолетовим зерном. У наступні роки, з 2012 по 2019, від первинного схрещування виконано загалом шість перерваних бекросів на оригінальну спельту (♀) Schwabekorn. У кожному схрещуванні оригінальна спельта використовувалася як материнська рослина з

метою збереження цитоплазми оригінальної спельти. Після другого перерваного бекросу у потомстві вищепилася рекомбінантна низькоросла рослина з темно-фіолетовим зерном, майже на 30 см нижча за оригінальну спельту, і саме ця рослина використовувалася у подальших бекросах з оригінальною спельтою (♀) Schwabenkorn незмінно в якості материнської рослини. У 2020—2021 рр. дібрані елітні короткостеблові рослини, максимально морфологічно подібні до оригінальної спельти, досліджувалися на морфологічну стабільність, зернову продуктивність, стійкість до фітозахворювань, стійкість до вилягання рослин, ознаки хлібопекарської якості та використовувалися для подальшого розмноження.

Вигляд рослини, колоса і зерна отриманої нами спельти, яка стала сортом і отримала назву Білбері, наведено на рис. 1. На рис. 2 подано фото зерна сорту звичайної пшениці сорту Адмірал, фіолетового зерна сорту Чорноброва і темно-фіолетового зерна сорту спельти Білбері. З порівняння забарвлення сорту Білбері із забарвленням оригінального сорту Чорноброва можна бачити, що зерно сорту Білбері значно темніше за фіолетове зерно сорту Чорноброва і навіть близьке до чорного. Підвищення інтенсивності забарвлення зерна



Рис. 1. Рослина, колос і зерно спельти сорту Білбері



Рис. 2. Зразки зерна (зліва направо) сортів Адмірал, Чорноброва, Білбері

спельти сорту Білбері порівняно з сортом донором ознаки «фіолетове зерно» свідчить про вплив генетичного середовища на інтенсивність забарвлення, що пов'язано з підвищеною активністю біосинтезу пігментів антоціанінів. Це підтверджується даними аналізу вмісту пігментів у зерні. Так, у сорту Чорноброва за тих самих умов вирощування вміст антоціанінів становить ~60 мг/кг, тоді як у спельти — майже 80 мг/кг.

Таким чином, нами було створено перший в Україні (і схоже що й перший у світі) інноваційний продукт спельта з темно-фіолетовим забарвленням зерна. Після виведення кольорової спельти одразу постало питання про впровадження цього інноваційного продукту у виробництво. Адже не важко було передбачити що нікому не знаний в Україні унікальний продукт, навіть якщо він інноваційний, потребуватиме значних зусиль, потужної реклами і солідних фінансових витрат на його популяризацію й впровадження у виробництво та на харчовий ринок України. Державній селекційній установі такі витрати нині не під силу. Тому ми звернулися за підтримкою до нашого партнера — компанії «Агрокрай» (насінневий бренд «Biligrain»). Компанія «Агрокрай»/«Biligrain» взяла на себе всі витрати, пов'язані з просуванням нашого інноваційного продукту у виробництво. В тому числі створена спельта була передана у Держсортвипробування через компанію «Агрокрай»/«Biligrain». Сорт пройшов успішне сорто-випробування і був занесений до Держреєстру під назвою Білбері (Bilberry). Назва сорту Bilberry була взята не випадково, бо англійське слово «bilberry» означає чорниця. Адже ягода чорниця, як інші кольорові ягоди і квіти, містить такі ж самі пігменти антоціаніни, які забарвлюють зерно пшениці у фіолетовий, синій і чорний кольори [13].

На сорт Білбері отримано авторське свідоцтво № 230792 про реєстрацію сорту і патент № 230659 (рис. 3). Наразі сорт спельти Білбері знаходиться у ексклюзивному використанні компанії «Агрокрай»/«Biligrain», яка має потужний власний насінневий завод, власні поля і володіє власними хлібопекарнями та власною торговельною мережею.

Ми виконали порівняння хлібопекарських характеристик спельти сорту Білбері з оригінальною спельтою Schwabencorn й істотних



Рис. 3. Свідоцтво про реєстрацію і патент на сорт спельти Білбері

відмінностей за низкою характеристик хлібопекарської якості не знайшли. Фактичні характеристики хлібопекарської якості спельти Білбері наведено в таблиці. Хлібопекарські характеристики спельти сорту Білбері були порівняні з сортом озимої пшениці високої хлібопекарської якості Адмірал (селекція СГП—НЦНС), лінією екстравищою хлібопекарської якості, що містить ген *Gpc-B1*, який позитивно впливає на вміст у зерні протеїну, а також з рекомбінантною лінією пшениці, що несе делецію субодиниці високомолекулярних глютенінів *Glu-Dx5*, втрата якої призводить до катастрофічного падіння ознак хлібопекарської якості.

Із наведених у таблиці даних можна бачити, що спельта Білбері серед чотирьох зразків має найвищий вміст у зерні протеїну (16,8 %) і сирій клейковини (45 %). За вмістом сирій клейковини спельта Білбері переважає сорт Адмірал більше як вдвічі, а високобілковий зразок з геном *Gpc-B1* — на 52,5 %. Однак такі характеристики якості як тест Зелені, SDS-30K і сила борошна (W) у спельти істотно нижчі.

Особливо привертає увагу показник W, який у спельти всього 75 одиниць альвеографа (о. а.), у сорту Адмірал — 283 о. а., у високобілкової лінії пшениці — 454 о. а. Характеристики якості спельти Білбері схожі лише з лінією пшениці, що несе делецію *Glu-Dx5*, надважливу для хлібопекарської якості пшениці взагалі, яка призводить до критичного зниження рівня хлібопекарської якості (рис. 4).

На рис. 5 представлені альвеограми борошна сортів пшениці Адмірал, спельти Білбері та лінії з геном *Gpc-B1*. Можна бачити різницю між альвеограмами спельти Білбері й високоякісних зразків борошна сорту Адмірал та лінії з геном *Gpc-B1*.

Порівняльні характеристики хлібопекарської якості спельти Білбері

Зразок	Цільне борошно				Біле борошно (70 %)		
	Волога, %	Протеїн, %	Твердість, Inframatic	Клейковина, %	Zeleny, мл	SDS-30K, мл	W
Адмірал	11,93	13,0	34	20,05	38	47	283
<i>Gpc-B1</i>	11,94	14,1	18	29,5	52	72	454
Спельта	12,16	16,8	6	45,0	21	15	75
Лінія 0+10	12,0	12,4	13	26,8	24	15	70

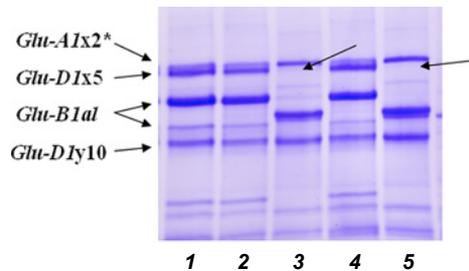


Рис. 4. Електрофореграми високомолекулярних глютенінів: 1, 2, 4 — сорт Куяльник (=Адмірал), 3, 5 — лінія з делецією *Glu-Dx5*

Крім низьких хлібопекарських характеристик борошна спельта Білбері для пекаря становить ще одну проблему. Хліб традиційних сортів випікають, як правило, із білого борошна 70 % виходу, а хліб із спельти Білбері має виготовлятися винятково і безальтернативно із цільного борошна (близького до 100 % виходу), оскільки підвищений харчовий фактор спельти Білбері — пігменти антоціаніни з високою антиоксидантною активністю зосереджені в оболонці зерна й під час помелу з відсівом висівок вони практично повністю втрачаються. Тому для виготовлення хліба із цільного борошна спельти Білбері потрібно було розробити спеціальну технологію, починаючи від якісного помелу зерна у цільне борошно й до хлібопекарських рецептів і технології замісу тіста та випічки. Однак ці технологічні складнощі стосуються виключно хліба. Що ж до виготовлення бісквітних виробів, таких як печиво, крекери, то цільне борошно спельти Білбері підходить навіть краще, аніж борошно традиційних хлібопекарських сортів пшениці.

З нелегким завданням розробки технології виготовлення хліба із цільного борошна спельти Білбері успішно впоралися млинарі ТОВ

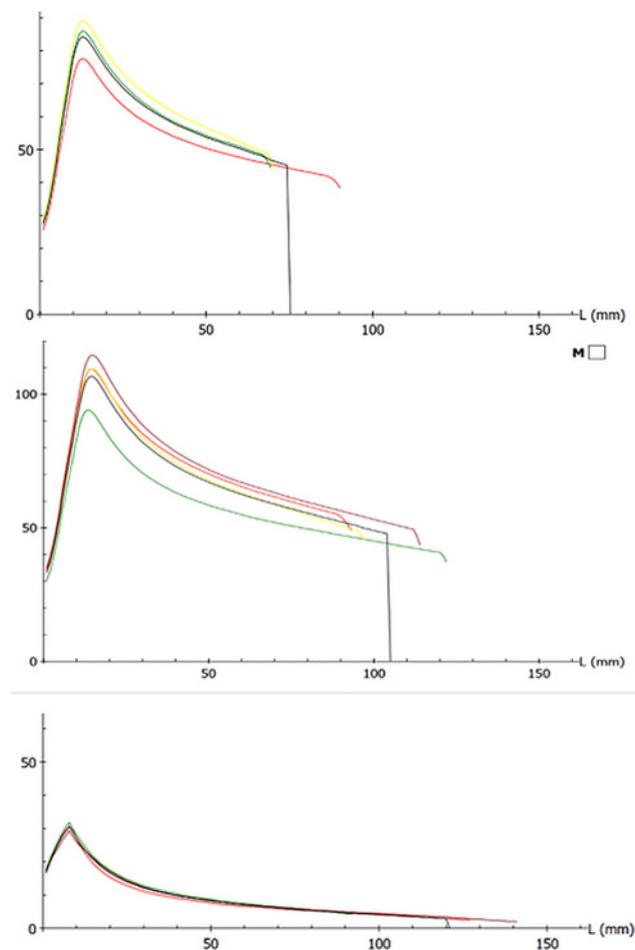


Рис. 5. Альвеограми борошна (зверху донизу): сорт Адмірал (W-283, L-74 mm, P/L-1.26, Іе-68.3 %); лінія з геном *Gpc-B1* (W-454, L-104, P/L-1.13, Іе-68.4 %); спельта Білбері (W-5, L-119, P/L-0.29, Іе-31.3 %)



Рис. 6. Цільнозернове борошно ТОВ «Дар млин Закарпаття» зі спельти Білбері

«Дар млин Закарпаття». Вони підбрали спеціальні режими помелу зерна спельти Білбері й отримали відмінне за якістю борошно (рис. 6), з якого Хмельницька пекарня ТМ «Мамин хліб» опрацювала оригінальні рецепти і технологію замісу борошна та виготовляє перші в Україні хліб та інші продукти із цільнозернового борошна спельти Білбері зі 100 % натуральним темно-коричневим кольором без жодних кольорових добавок (рис. 7). Продукти із цільного борошна сорту спельти Білбері можна замовити на сайті компанії «Biligrain».

Принагідно зазначимо, що у торговельній мережі України справжнього цільнозернового хліба практично немає. Ті темні сорти хліба на полицях супермаркетів, що вважаються цільнозерновими, насправді такими не є. Щоб подати хліб як цільнозерновий, виробники його підфарбовують добавками солодового екстракту або солодового сиропу, карамельного сиропу тощо. Покупцеві такого темного штучно фарбованого «цільнозернового» хліба слід особливо остерігатися таких кольорових добавок як амоній карамель, E150c, E150d, сульфітна карамель амонію, побічними реакціями на які можуть бути судоми і навіть патологічні зміни клітин крові. Це досить серйозно і вкрай небезпечно. Наукові дослідження з цього приводу публікує Європейська агенція з безпеки харчів (EFSA, European Food Safety Authority) [18].

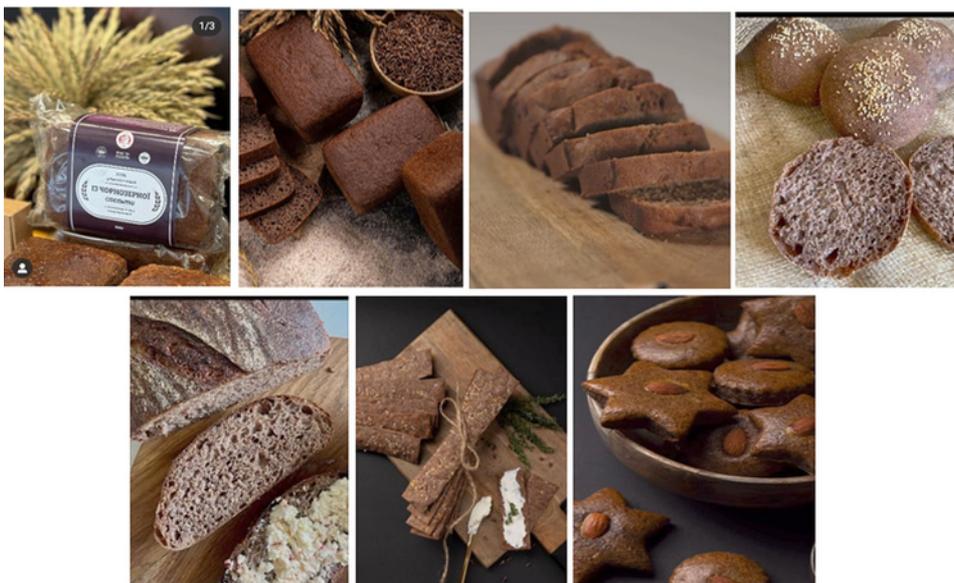


Рис. 7. Хлібопродукти ТМ «Мамин хліб» із цільного борошна спельти Білбері

Краще і цілком безпечно виготовляти хліб вдома з цільного борошна сорту спельти Білбері. Борошно можна замовити у ТОВ «Дар млин Закарпаття», а кулінарними рецептами радо поділиться ТМ «Мамин хліб».

Таким чином, нами створена перша в Україні пшениця спельта з кольоровим темно-фіолетовим зерном. Разом із партнерами налагоджено виробництво цільного борошна з кольорової спельти і виробництво цілої серії корисних для здоров'я і смачних цільнозернових продуктів зі 100 % натуральним темно-коричневим забарвленням. Це перші такі продукти, яких раніше не було на продовольчому ринку України, що є неабияким успіхом. ТОВ «Дар млин Закарпаття» налагодило експорт цільного борошна спельти за кордон. Нещодавно продуктами із кольорової спельти реально зацікавилась київська елітна пекарня BakeHouse. Отож наша справа не стоїть на місці й потихеньку рухається.

Наша найближча мета — створення справжньої чорної спельти, хоча це робота неймовірно складна і тривала в часі. Нами також здійснюється масштабна селекційна програма зі створення чорнозерних сортів хлібопекарської пшениці. Нині кольорові пшениці — це світовий тренд, у якому задіяні такі величезні за чисельністю населення країни, як Китай та Індія. У дослідженнях і селекції кольорової пшениці нині беруть участь щонайменше 60 науково-дослідних інституцій в 16 країнах світу. Профільні фахівці вбачають велике майбутнє за цими інноваціями, оскільки цільнозернові продукти як з кольорової пшениці, так і особливо з кольорової спельти — це продукти здорового харчування з високим функціональним статусом. Однак без комерційної популяризації, реклами, освітньої підготовки населення такі сорти і продукти з них успішно просувати на ринок практично неможливо, тим більше, що такі продукти не є і не можуть бути дешевими. Тому єдиним шляхом комерціалізації цих сортів і похідних продуктів з них може бути залучення приватних компаній, які мають повний комплект засобів для вирощування, переробки і виготовлення таких продуктів.

REFERENCES

1. Dubcovsky, J. & Dvorak, J. (2007). Genome plasticity a key factor in the success of polyploidy wheat under domestication. *Science*, 31, 6, pp. 1862-1866. <https://doi.org/10.1126/science.1143986>
2. 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>
3. Dvorak, J., Deal, K.R., Luo, M.C., You, F.M., von Borstel, K. & Dehghani, H. (2012). The origin of spelt and free threshing hexaploid wheat. *J. Heredity*, 103, pp. 426-441. <https://doi.org/10.1093/jhered/esr152>
4. Shewry, P.R. (2018). Do ancient types of wheat have health benefits compared with modern bread wheat? *J. Cereal Sci.*, 79, 4, pp. 469-476. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.11.010>
5. Spisni, E., Imbesi, V., Giovanardi, E., Petrocelli, G., Alvisi, P. & Valerii, M.C. (2019). Different physiological responses elicited by ancient and heritage wheat cultivars compared to modern ones. *Nutrients*, 11, 2871. <https://doi.org/10.3390/nu1122879>
6. 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>
7. 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>

8. Bonafaccia, G., Galli, V., Francisci, R., Mair, V., Skrabanja, V. & Kreft, I. (2000). Characteristics of spelt wheat products and nutritional value of spelt wheat-based bread. *Food Chem.*, 68, pp. 437-441. [https://doi.org/10.1016/s0308-8146\(99\)00215-0](https://doi.org/10.1016/s0308-8146(99)00215-0)
9. Abdel-Aal, E.-S. M. & Rabalski, I. (2008). Effect of baking on nutritional properties of starch in organic spelt whole grain products. *Food Chem.*, 111, pp. 150-156. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.03.050>
10. 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>
11. Filipčev, B., Šimurina, O., Bodroža-Solarov, M. & Obrecht, 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. *Hemijaska Industrija*, 67, pp. 443-453. <https://doi.org/10.2298/hemind120606083f>
12. Reiter, E., Werteker, M., Schmidt, L. & Berghofer, E. (2000). Spelt wheats varieties: new aspects and technological properties. In: Z. Ugarčić-Hardi, ed., *Proceedings of the Second Croatian Congress of Cereal Technologists «Brašno-kruh'99»*, Opatija, Croatia, Grafika d.o.o., Osijek, pp. 10-15. <https://doi.org/10.1201/9781420027228-44>
13. 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>
14. Rybalka, O.I., Morhun, V.V., Morgun, B.V., Polyshchuk, S.S., Chervonis, M.V. & Sokolov, V.M. (2023). New genetic variation related to wheat (*Triticum aestivum* L.) breeding for quality. *Cytol. Genet.*, 57 (1), pp. 3-16 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.3103/s0095452723010103>
15. Rybalka, O.I. & Pokoievoi, H.V. (2011). Device for determination of sedimentation SDS-30. Patent of Ukraine № 65644; State register for useful models. 12.12.2011 [in Ukrainian].
16. Rybalka, O.I. (2010). Protocols for electrophoretic analysis of wheat gluten proteins. *Sci. Bull. SGI-NCNS*, 16, pp. 171-179 [in Ukrainian].
17. Abdel-Aal, E.-S. & Hucl, P. (1999). A rapid method for quantifying total anthocyanins in blue aleurone and purple pericarp wheats. *Cereal Chem.*, 76 (3), pp. 350-354. <https://doi.org/10.1094/cchem.1999.76.3.350>
18. Scientific opinion on the re-evolution of caramel colors (E150a,b,c,d) as food additives. EFSA panel on food additives and nutrient sources added to food (ANS). European Food Safety Authority (EFSA), Parma, Italy. *EFSA Journal*, 9 (3), 2004, p. 103. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2004>

Received 10.10.2024

UNIQUE SPELT WHEAT (*TRITICUM AESTIVUM* SSP. *SPELTA* L.) WITH DARK-PURPLE GRAIN COLOR

O.I. Rybalka^{1,2}, S.S. Polyshchuk¹, M.V. Chervonis¹, V.V. Morhun², B.V. Morgun^{2,3}

¹Plant Breeding and Genetics Institute—National Center of Seed and Cultivars Investigation, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
3 Ovidiopolska Road, Odesa 65036, Ukraine

²Institute of Plant Physiology and Genetics, National Academy of Sciences of Ukraine
31/17 Vasylykivska St., Kyiv 03022, Ukraine

³Institute of Cell Biology and Genetic Engineering, National Academy of Sciences of Ukraine

148 Akademika Zabolotnogo St., Kyiv 03143, Ukraine
e-mail: molgen@icbge.org.ua

Today, food products from the flour of ancient spelt wheat are quite popular in the world and their attractiveness to the consumer is growing, as evidenced by the expansion of acreage under spelt wheat. According to nutritional characteristics, such as the content of vitamins

and minerals in the grain, soluble digestible protein, antioxidant activity of the grain, lower immunoreactivity of gluten, the pleasant taste of food products, spelt wheat is dominated by modern high-yielding wheat varieties. The aim of our work was to create spelt wheat with improved nutritional characteristics by transferring to the spelt genome the genes of bread wheat that control the purple color of the grain. As a donor of purple color, the Chornobrova wheat variety with purple grain color was used. As a result of five interrupted backcrosses by pollen of original spelt Schwabencorn and selection of genotypes with purple grain, a unique spelt wheat with dark purple grain was obtained in Ukraine for the first time. The developed variety of spelt wheat with dark purple grain is listed in the State Register of Varieties of Ukraine under the name of Bilberry. Our partner millers society «Dar Mlyn Zakarpattya» Ltd and bakers «Mamyn Khib™» of company Biligrain have worked out a technology of grinding spelt Bilberry in high-quality whole flour quite suitable for the manufacturing a series of foods with dark brown 100 % natural color and increased nutritional value of grain. Food products from colored grain of spelt wheat first appeared on the food market of Ukraine.

Key words: *Triticum aestivum* ssp. *spelta* L., spelt, increased nutritional value, variety with dark purple grain.

ORCID

О.І. РИБАЛКА — O.I Rybalka <https://orcid.org/0000-0003-0103-1012>

С.С. ПОЛІЩУК — S.S. Polyshchuk <https://orcid.org/0009-0000-8934-3621>

М.В. ЧЕРВОНІС — M.V. Chervonys <https://orcid.org/0009-0001-9941-2720>

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

Б.В. МОРГУН — B.V. Morgun <https://orcid.org/0000-0001-7041-6894>