

<https://doi.org/10.15407/frg2024.02.095>

УДК 575.113.2:577.112.82

ЦІЛЬНОЗЕРНОВІ ПРОДУКТИ — СВІТОВА СТРАТЕГІЯ ЗДОРОВ'Я

О.І. РИБАЛКА^{1,2}, В.В. МОРГУН², С.С. ПОЛІЩУК¹, М.В. ЧЕРВОНІС¹,
Б.В. МОРГУН^{2,3}, В.М. СОКОЛОВ¹

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

03680 Київ, вул. Академіка Заболотного, 148

e-mail: molgen@icbge.org.ua

Стаття містить огляд результатів досліджень біохімічного складу висівків пшениці, властивостей, фізіологічних ефектів на організм людини як окремих компонентів висівків пшениці, так і комплексу інгредієнтів висівків у їх взаємодії (синергізму) за впливом на здоров'я. Лівова частка цінних для здоров'я компонентів зерна пшениці акумульована в периферійних шарах зернівки: оболонці, алеїроновому шарі й зародку, що складають разом фракцію технологічних висівків, які відсіваються окремо за помелу зерна у біле борошно і використовуються переважно на корм у тваринництві. Біле рафіноване борошно за відсіву технологічних висівків втрачає від 50 до 90 % цінних для здоров'я інгредієнтів і потребує штучної фортифікації додаванням мінералів, вітамінів та біоактивних сполук. Рациональною альтернативою білому рафінованому борошну є цільнозернове борошно без відсіву висівків, яке зберігає у собі всі цінні для здоров'я інгредієнти зерна. Численні наукові й клінічні дослідження компонентів зерна пшениці та їх позитивного зв'язку зі здоров'ям людини аргументовано вказують на необхідність поступової відмови від продуктів з білого рафінованого борошна та потребу істотного збільшення у харчовому раціоні населення світу продуктів із цільнозернового борошна пшениці. У 2017 р. у Відні відбувся 6-й Міжнародний цільнозерновий саміт, на якому була прийнята спеціальна Цільнозернова ініціатива (Whole Grain Initiative, скорочено WGI), що координується Міжнародною асоціацією науки і технології злаків (International Association for Cereal Science and Technology — ICC). У рамках цієї ініціативи затверджено низку міжнародних програм, спрямованих на популяризацію продуктів із цільнозернового борошна пшениці та інших культурних злаків. В огляді подано ґрунтовну характеристику компонентного складу пшеничних висівків, які містять найважливіші для здоров'я харчові інгредієнти — різні види нерозчинної і розчинної клітковини, поліфенольні кислоти, вітаміни, мінерали, біоактивні пептиди, потужні антиоксиданти, які забезпечують захист організму людини від таких деструктивних захворювань, як рак, серцево-судинні

Цитування: Рибалка О.І., Моргун В.В., Поліщук С.С., Червоніс М.В., Моргун Б.В., Соколов В.М. Цільнозернові продукти — світова стратегія здоров'я. *Фізіологія рослин і генетика*. 2024. 56, № 2. С. 95—129.
<https://doi.org/10.15407/frg2024.02.095>

патології, цукровий діабет та ін. Висвітлено новий перспективний напрям у поліпшенні харчового статусу висівків і цілого зерна пшениці створенням кольорових сортів пшениці з синім, фіолетовим та чорним зерном. Колір зерна цих сортів зумовлений пігментами антоціанінами, такими як у відомих всім кольорових ягодах і фруктах (лохина, чорниця, ожина, суниця) та проявляють високу антиоксидантну активність. Значна увага приділена технології ферментації лактобактеріями цільнозернового борошна. Лактобактеріальна ферментація істотно поліпшує харчову цінність цільнозернового борошна внаслідок активації ферментативних процесів, біосинтезу нових біоактивних сполук та нейтралізації антипоживних і токсичних домішок у борошні. Наведено рекомендації авторів щодо проведення глибоких наукових досліджень цільнозернового борошна, створення нових сортів пшениці з функціональним харчовим статусом, розширення виробництва цільнозернових продуктів та орієнтації населення на активніше споживання продуктів з цільнозернового борошна.

Ключові слова: пшениця, цільнозернові продукти, висівки, кольорове зерно, здорове харчування.

У 2017 р. у Відні відбувся 6-й Міжнародний цільнозерновий саміт, на якому були присутні понад 200 фахівців світової галузі здорового харчування, PR-менеджерів, виробників і маркетологів, науковців у галузі якості зерна, урядовців з 36 країн світу з усіх континентів, завданням яких було визначити шляхи зростання споживання цільнозернових продуктів населенням в усьому світі. На цьому саміті була прийнята Цільнозернова ініціатива (Whole Grain Initiative, скорочено WGI), яка координується Міжнародною асоціацією науки і технології злаків (International Association for Cereal Science and Technology — ICC). Рішенням WGI було навіть запроваджено дату унікального свята — Міжнародний день цільного зерна (International Whole Grain Day) 15 листопада (!) гаслом якого стало «Empowering Next Generation with Whole Grain — посилення нового покоління цільним зерном». З нагоди святкування 5-ї річниці Міжнародного дня цільного зерна 15 листопада 2023 р. WGI узгодила три святкові події у трьох різних регіонах світу:

- 1) слухання у Європарламенті, спрямовані на збільшення тривалості здорового життя населення;
- 2) проведення в Австралії тижневої (з 13 по 19 листопада) кампанії «цільнозернові продукти для всієї сім'ї»;
- 3) проведення цільового вебінару в суспільній американській аудиторії з метою заснування стратегії підвищення дитячого споживання цільнозернових продуктів.

До цього лише слід додати, що цільнозернові продукти є вагомою часткою інформаційної активності таких поважних світових інституцій як EUFIC (European Food Information Council) та WHO (World Health Organization), які системно інформують населення ЄС і світу про науково обґрунтовані дані стосовно продуктів здорового харчування.

Отже, як бачимо, причетність WGI, EUFIC та WHO до теми цільнозернових злаків — це досить серйозно і зовсім не випадково. А почалося все, як вважають, з публікації британського хірурга-місію-

нера д-ра Деніса Баркіта, яка вийшла друком у 1971 р. в авторитетному науковому журналі «Cancer», де автор обґрунтував низький рівень виникнення раку шлунку у сільських районах Африки як наслідок вживання дієтичної клітковини цільнозернових злаків [1]. Відтоді й дотепер виконано сотні наукових досліджень складових компонентів зерна злаків та їх впливу на перебіг фізіологічних функцій організму людини і її фізичне здоров'я.

На рис. 1, як приклад, показано структуру зернівки пшениці, наведено перелік біохімічних складників зерна та їх локалізацію в окремих структурних елементах зернівки. Можна бачити, що структурно зернівка пшениці складається із трьох основних компонентів: крохмалистий ендосперм (80—85 %), зародок (2—4 %) і решта — складна багатошарова оболонка з алейроновим шаром зерна (10—13 %), яка, власне, і має назву «висівки» (*bran* англійською). За технологічного помелу зерна пшениці у біле борошно зародок, оболонка і алейроновий шар відходять у фракцію відходів, яку називають у борошномельній промисловості «висівки». Тобто, термін «висівки» має як структурне, так і технологічне визначення.

Біле борошно стандартного 70 % виходу, з якого масово в усіх куточках планети нині виробляють борошняні продукти, дає саме крохмалистий ендосперм. Дієтична клітковина (*dietary fibre*) нерозчинна (*insoluble*) і розчинна (*soluble*), про роль якої у профілактиці раку йшла мова у статті д-ра Деніса Баркіта, міститься не у крохмалистому ендоспермі, а саме у фракції висівок, відходах борошномельного виробництва, які використовуються переважно як добавка до корму тварин.

Як видно з рис. 1, крохмалистий ендосперм, і відповідно біле борошно, містить крохмаль і протеїн та незначну частку (2 %) клітковини, решта ж цінних харчових компонентів зерна, включно з дієтичною клітковиною, знаходяться у фракції висівок. За помелу зерна пшениці біле борошно втрачає левову частку вітамінів, мінералів і дієтичної клітковини (табл. 1), а його харчова цінність і цінність похідних борошняних продуктів істотно знижується. Втрачені з білого борошна цінні харчові компоненти зерна переходять у технологічну фракцію висівок.

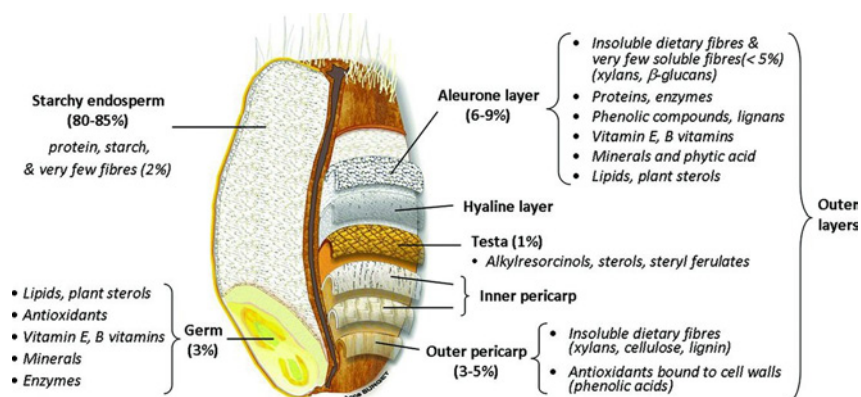


Рис. 1. Структура і біохімічний склад зерна пшениці [2]

ТАБЛИЦЯ 1. Втрати вітамінів і мінералів за помелу зерна пшениці у біле борошно [3]

Нутрієнт	% втрати	Нутрієнт	% втрати	Нутрієнт	% втрати	Нутрієнт	% втрати
Кобальт	88,5	Рибофлавін	80,0	Залізо	75,6	Кальцій	60,0
Вітамін Е	86,3	Натрій	78,3	Вітамін В6	71,8	Вітамін В5	50,0
Марганець	85,8	Цинк	77,7	Фосфор	70,9	Молібден	48,0
Магній	84,7	Тіамін	77,1	Клітковина	82,0	Хром	40,0
Ніацин	80,8	Калій	77,0	Мідь	67,9	Селен	15,9

Біле борошно пшениці масово використовується в усьому світі для виготовлення продуктів щоденного харчування населення. Водночас такі відомі світові організації як FAO, IFAD, UNICEF, WFP, WHO, що опікуються здоров'ям населення світу, б'ють тривогу з приводу дефіциту в харчах мільйонів населення клітковини, вітамінів і мінералів та спричинених цим дефіцитом системних захворювань, особливо у країнах світу, що розвиваються. Причому проблема дефіциту у харчах критичних нутрієнтів набула глобального, стратегічного значення, оскільки пов'язана з проблемами росту, розвитку й формування імунітету дитячого населення, ментального і фізичного розвитку дорослого населення, здоров'ям жінок репродуктивного віку тощо [4].

Аби запобігти загостренню зазначених проблем, біле борошно пшениці спеціально збагачують вітамінами, мінералами та іншими критично важливими нутрієнтами. Штучне збагачення білого борошна позначається спеціальним терміном «фортифікація». Так, за даними на 2008 р. відсоток індустриального фортифікованого білого борошна, наприклад у США і Канаді, становив близько 97 %, у країнах Південної Азії — 21, у Європі — 6, країнах Західного Тихоокеанського регіону — 4, Африці — 31, і 44 % у країнах Середземноморського регіону. Причому всі країни світу поділяються на категорії країн, у яких фортифікація білого борошна є обов'язковою (86 країн), або факультативною, країни, що планують фортифікацію, і країни, які не застосовують фортифікацію і не збираються її робити [5].

Штучна фортифікація білого борошна має поліпшувати біологічну цінність борошняних продуктів, хоча достатньо переконливих клінічних досліджень щодо цього поки ще бракує. Однак штучна фортифікація жодним чином не спроможна еквівалентно замінити втрачені з висівками цінні для здоров'я натуральні нутрієнти, не може поліпшити натуральні смакові якості продуктів, їх структуру, аромат і органолептику. Реальна харчова цінність натурального продукту штучно не може бути відтворена [6]. І найважливіше, наголошується, що значення натуральних компонентів зерна у тому, що вони впливають на наш організм не індивідуально, а в комплексі, разом, у взаємодії спричиняючи інтегрований позитивний ефект на наше здоров'я. І особливо це справедливо стосовно складових компонентів фракції висівок [7].

Висівки нині вважають економічно найдешевшим і водночас найнасиченішим джерелом цінної дієтичної клітковини, вітамінів, мінералів і біоактивних компонентів для поліпшення харчового ста-

тусу різних продуктів харчування, і світова популярність висівків, як цінної харчової добавки, невідменно зростає. Так, за 10 років, з 2001 по 2011 рр., кількість харчових продуктів у світі з додаванням висівків збільшилася від 52 до 800 і продовжує зростати [8]. А частка продуктів, збагачених висівками, взагалі сягає понад 60 % [9].

Висівки пшениці, біохімічний склад і властивості. Біохімічний склад висівків пшениці досить багатий на різноманітні складових, цінних для здоров'я компонентів, і не випадково висівки називають «коричнєве золото» [15]. Максимально повно із всебічною характеристикою харчової функціональності компонентів біохімічний склад висівків пшениці систематизований в оглядовій статті [7].

Головною складовою висівків є вуглеводи, переважно арабіноксилани, які становлять ~64 % клітинних стінок висівків, частково водорозчинні некрохмалисті поліцукриди з високою водопоглинальною здатністю та важливою функціональністю у хлібопеченні. Їстотну частку висівків становить дієтична клітковина у формі ксиланів, лігніну, целюлози, галактанів і фруктанів, а також вітаміни і мінерали [10]. Висівки багаті на мінерали, такі як залізо, цинк, магній, марганець і фосфор. Однак фосфор у висівках на 80 % зв'язаний в органічну форму фітатів з утворенням комплексів з Fe, Zn і Mg, що істотно знижує біодоступність цих мінералів. Від 34 до 63 % маси пшеничних висівків складається з нерозчинної і розчинної клітковини, як комплексного компаунда, утвореного полімерами целюлози, геміцелюлози і пентозанів разом з протеїнами і лігніном та іншими некрохмалистими поліцукридами, які не розщеплюються гідролітичними (панкреатичними) ферментами у тонкому відділенні кишечника. Розчинна дієтична клітковина становить близько 5 % від загального вмісту дієтичної клітковини і утворена здебільшого ксиланами і глюканами [11].

Дієтична клітковина відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні фізіологічного здоров'я кишечника, регулюванні апетиту і маси тіла, пролонгує відчуття ситості, знижує тривалість транзиту їжі та калових мас через кишечник, підвищує легкість й об'єм випорожнення кишечника, і що особливо важливо, дієтична клітковина є джерелом коротколанцюгових жирних кислот, які продукують кишкова мікробіота в результаті ферментації дієтичної клітковини [12].

Дуже важлива роль дієтичної клітковини у попередженні захворювань кишечника, включно з раковими, послабленні синдрому подразнення кишечника (IBS), зниженні ризику гемороїдальної й діафрагмової грижі, гіпертензії та гіперхолестеринемії, зниженні ризику раку грудей і захворювань сечового міхура, а також цукрового діабету типу 2 [13].

Структурно фракція висівків зерна є складною і багат шаровою та поділяється на чіткі окремі шари клітин: перикарп (внутрішній і зовнішній епідермальні шари), теста, гіаліновий та алеїроновий шари. Власне перикарп становить близько 5 % маси зерна і містить 20 % целюлози, 6 % протеїну, 2 % золи і 0,5 % жирів. Він також багатий на ксилани і нерозчинну клітковину. Більша частина тканин перикарпу складається із лігнінових клітинних стінок. Теста містить май-

же всі алкілрезорциноли, що є в зерні пшениці. Алкілрезорциноли — це важливий клас біоактивних фенольних ліпідів з потужною антиоксидантною та антиканцерогенною дією [14, 17]. Гіаліновий (hyaline) шар займає проміжне положення у структурі висівок і містить арабіноксилани та потужний рослинний антиоксидант ферулову кислоту. Внутрішню частину у структурі висівок займає надзвичайно цінний у харчовому сенсі алейроновий шар, у якому міститься 80 % загального вмісту ніацину (вітамін B_3) в зерні, 60 вітаміну B_6 і 32 % загального тіаміну (вітамін B_1) [15]. Алейроновий шар є також багатим джерелом фітоестрогенів, лігнанів і збалансованих за амінокислотним складом (особливо високий вміст лізину) протеїнів, різних біоактивних компонентів, фітинової кислоти, антиоксидантів, вітамінів та мінералів. Цілком обґрунтовано алейроновий шар пшеничного зерна заслуговує на особливу увагу вчених-нутриціологів як функціональний інгредієнт численних харчових продуктів на основі злаків. Алейроновий шар додає особливої харчової цінності висівкам як біологічно цінного компонента у профілактиці багатьох патологій людського організму [16]. Зовнішній шар зернівки, який першим відокремлюється під час помелу зерна, становить до 1 % його маси, і до складу цього шару входять переважно арабіноксилани, ліпіди, алкілрезорциноли й лігнін. Висівки також включають водонерозчинну клітковину, яка фізично захищає зерно від зовнішніх чинників. Ця клітковина складається із арабіноксиланів (19—25 %), крохмалю (17—29 %), протеїнів (14—18 %), лігніну (до 3 %), бета-глюканів (1—3 %), фітинової (3—5 %) і ферулової (0,3—5 %) кислот [16].

Понад половину вмісту (55 %) дієтичної клітковини зерна становлять арабіноксилани, тоді як решта 9—12 % — целюлоза, з якої на 30 % складаються стінки клітин висівок, 3—5 % — лігнін, 3—4 % — фруктани і 2,2—2,6 % — бета-глюкани. Целюлоза нерозчинна і резистентна до багатьох мікроорганізмів і ферментів. Часто целюлоза асоціюється з лігніном та іншими некрохмалистими поліцукридами і формує комплекс лігноцелюлозу з надвисокою стійкістю до бактеріальної і ензиматичної деградації. Зольність пшеничних висівок становить 5,5—6,5 %. До складу висівок входять також 4—6 % ди- і трицукридів, таких як цукроза і рафіноза [18].

Клітини структурної частини висівок складаються на 64 % з арабіноксиланів, і відповідно арабіноксилани становлять 22,4—29,8 % сухої маси висівок. Арабіноксилани — різновид клітковини, молекулярним остовом якої є бета-D-ксилян з бічними ланцюгами арабінози, з'єднаної з остовом глікозидними альфа-1,2 та альфа-1,3 зв'язками. Незначна частка арабіноксиланів є водорозчинними, решта — нерозчинні. Арабіноксилани, як дієтична клітковина, мають також антиоксидантну активність внаслідок ковалентно зв'язаних з ними фенольних сполук. У кишечнику арабіноксилани утворюють в'язкі розчини, завдяки чому сповільнюють всмоктування глюкози у кров'яне русло, протидіючи таким чином розвитку цукрового діабету типу 2 [19,20].

Незначну частку (2,2—2,7 %) висівок пшениці складають бета-глюкани. Це різновид водорозчинної клітковини з дуже високою

в'язкістю розчинів, внаслідок чого їхня фізіологічна функція в кишечнику така сама, як і в арабіноксиланів.

До складу технологічної фракції висівок входить зародок пшениці, який містить 28,5 % ліпідів, із них 12,6—32,1 % зосереджені у тканинах щитка, 10,0—16,3 % — в ембріональній зоні, завдяки чому висівки містять 5,5—5,6 % олії. Олія висівок високої біологічної якості, оскільки представлена переважно фосфоліпідами (частково гліколіпідами), 50 % яких є ненасиченими з 18 атомами вуглецю і двома подвійними зв'язками [21].

Крім дієтичної клітковини, висока харчова цінність висівок забезпечується комплексом біоактивних компонентів, які у значній кількості наявні у висівках (табл. 2) [7, 16].

Біоактивні компоненти, перелічені в табл. 2, мають функціональне значення насамперед як агенти антиоксидантної і протизапальної дії. Загалом фізіологічні ефекти висівок можна розподілити на три категорії: 1) поживний ефект завдяки вмісту крохмалю, білків і жиру; 2) механічний ефект на кишковий тракт внаслідок високого вмісту клітковини; 3) антиоксидантний ефект через фенольні компоненти і алкілрезорциноли.

Антиоксидантні властивості висівок пшениці. Безперечно, антиоксидантний ефект висівок є найважливішим з погляду його впливу на стан фізіологічного здоров'я людини та захисту організму від деструктивної дії вільних радикалів. Якщо взяти ціле зерно пшениці, то його антиоксидантна активність зумовлена передусім фракцією зародок/висівки, яка містить 83 % загального вмісту фенольних сполук [21]. Хоча антиоксидантна активність висівок доволі повно досліджена, фахівці вважають що її рівень, визначений в лабораторних умовах, може бути заниженим, оскільки лабораторні методи екстракції поліфенолів не настільки ефективні, як це відбувається за фермента-

ТАБЛИЦЯ 2. Вміст біоактивних компонентів у 100 г висівок пшениці [7, 16]

Біоактивний компонент	Вміст у 100 г висівок	Біоактивний компонент	Вміст у 100 г висівок
Фітинова кислота	2180—5220 мг	Ферулова кислота	500—1500 мг
Алкілрезорциноли	220—400 мг	Лютеїн	97—140 мкг
Залізо	11 мг	Магній	12 мг
Цинк	7,3 мг	Селен	78 мкг
Вітамін Е	1,4 мг	Бетаїн	1000—1300 мг
Холін	47—100 мг	Ніацин	14—18 мг
Пантотенова кислота	2,2—3,9 мг	Рибофлавін	0,39—0,75 мг
Біотин	0,048 мг	Тіамін	0,54 мг
Піридоксин	1,0—1,3 мг	Фолати	79—200 мг
Глутатіон	38 мг	Клітковина	44,6 г
Лігнін	5,6 г	Поліфеноли	1,1 г
Фенольні кислоти	1,07 г	Флавоноїди	0,028 г
Лігнани	0,0050 г	Фітостероли	0,16 г

тивної екстракції поліфенолів безпосередньо у кишковому тракті [22]. Серед фракцій висівок найсильніша антиоксидантна активність виявлена в алейроновому шарі, оскільки лише його ферулова кислота (як похідна фенольних і цинамової кислот) становить 60 % загальної антиоксидантної активності [23]. Дослідженнями встановлено, що фітохімічні сполуки пшеничних висівок з антиоксидантною активністю здатні модулювати оксидативний статус і захищати молекули ДНК, протеїни та ліпіди мембран від окиснювального пошкодження, і таким чином відігравати важливу роль у зниженні ризику таких хронічних захворювань, як серцево-судинний й рак [24]. Фенольні антиоксиданти пшеничних висівок блокують окиснення ліпопротеїдів низької щільності (LDL) зв'язуванням з аполіпопротеїном-В, що знижує ризик розвитку тромбозу судин [21]. Досліджено, що алкілрезорциноли, як потужні антиоксиданти висівок, інгібують агрегацію тромбоцитів з фібриногеном, стимулюють продукцію тромбоксану та інгібують формування тригліцеридів, що визначає їх потенційну роль у попередженні серцево-судинних патологій [25]. Показано також, що фенольні компоненти висівок, такі як ферулоїльовані олігоцукриди, захищають еритроцити людини від індукованого вільними радикалами оксидативного пошкодження [26].

Як зазначалося, арабіноксилани також є важливим джерелом антиоксидантної активності, оскільки з ними ковалентно зв'язані фенольні сполуки, які у свою чергу вивільнюються в кишечнику під дією травних ферментів і самостійно зумовлюють антиоксидантний ефект [27]. Важливо наголосити, що потужні антиоксиданти, такі як ферулова кислота та більшість фенольних сполук, на ~76 % знаходяться у висівках у зв'язаній формі з арабіноксиланами та іншими неперетравними поліцукридами [28]. Це є дуже важливою особливістю антиоксидантної дії злаків на відміну від овочів і фруктів, де біоактивні компоненти знаходяться і діють як антиоксиданти у вільній або розчинній формі, виявляючи свою активність у верхньому (тонкому) відділі кишечника. Тому зв'язані антиоксиданти висівок мають більш спрямований переважно сайт-специфічний ефект у кишечнику, завдяки чому роль висівок, як джерела антиоксидантів, є навіть важливішою, ніж овочів і фруктів як частини дієти здорового харчування [29].

Одним із ефективних шляхів вивільнення антиоксидантів, зв'язаних з нерозчинним матеріалом клітинних стінок, є потужна ферментативна активність кишкової мікрофлори. Наприклад, кишкова бактеріальна естераза досить ефективно вивільнює із висівок антиоксидант ферулову кислоту. Наголошується особливо на тому, що зв'язані з дієтичною клітковиною перелічені антиоксиданти, такі як поліфеноли, а також каротиноїди, котрі у вивільненому стані здатні істотно поліпшувати фізіологічні властивості й вплив на здоров'я, їх ефекти посилюються у взаємодії з позитивним впливом на здоров'я дієтичної клітковини, як носія цих антиоксидантів. Тобто мова йде про спрямовану комплексну взаємодію антиоксидант—клітковина і їх комбінований позитивний вплив на здоров'я, що властиво злакам і чого немає у овочів та фруктів [30].

У висівках наявні у досить високій концентрації (0,6 %) місткі на сірку амінокислоти, такі як метіонін і цистеїн, які є прекурсорами у біосинтезі внутрішньоклітинного антиоксиданту глутатіону, що ефективно контролює оксидативний статус клітин [31].

Висівки містять також поліфенольні сполуки лігнани, які мають чітко виражені антипухлинні властивості і є посередниками цитостатичних механізмів й апоптозу клітин [32]. Пшеничні висівки разом із зародком містять практично всі вітаміни групи В, такі як тіамін, рибофлавін, ніацин, пантотенова кислота, піридоксин, біотин і фолати у кількості 30,3 мг/100 г у висівках і 12,3 мг/100 г у зародку. Вони містять також вітамін Е і каротиноїди. Такі компоненти висівків, як ферулова кислота, магній, цинк, мідь, інозитолі, полікозанол і мелатонін відіграють важливу роль у підтримці й поліпшенні ментального здоров'я [7, 33].

Фітинова кислота та її роль у харчуванні. Проблемним компонентом зерна у харчовому аспекті є фітинова кислота, яка наявна у зерні злаків у формі міоїнозитолгексафосфату (myoinositol hexaphosphate), або фітатів. Близько 90 % фітатів знаходиться в алейроновому шарі й ~10 % у зародку. Загальний вміст фітатів у зерні пшениці становить 1,13 % у перерахунку на суху речовину [34]. Вміст фітатів варіює залежно від фракції зерна. Так, у білому борошні вміст фітатів на суху речовину становить 200—400 мг/100 г, у цілозмеленому зерні — 600—1000 мг, а у висівках — 3116—5839 мг/100 г [35].

Більшість мінералів у зерні пшениці виявляються у формі комплексів з фітиною кислотою. Дозріле зерно пшениці має високу активність ферменту фітази, який гідролізує фітати і робить мінерали біодоступними. Однак фітати зерна розглядаються у харчуванні людини як антинутрієнти, оскільки біодоступність таких мінералів, як залізо, магній, цинк і кальцій знижується у разі їх наявності у формі органічних комплексів з фітиною кислотою. Мінерали у таких комплексах не можуть легко засвоюватися у шлунково-кишковому тракті (ШКТ) людини, і тому фітати класифікуються як антипоживні компоненти зерна [36].

Яскравий приклад зв'язування фітиною кислотою кальцію наведено в одному з досліджень на групі жінок-волонтерів, де спостерігали зниження засвоєння кальцію за вживання висівків пшениці у дозі 16 г/день. Причому негативний вплив висівків на засвоєння кальцію був навіть за підвищення кальцію у харчовій дієті до 75 ммоль. З чого зроблено висновок, що фітинова кислота здатна зв'язувати кальцій у біонедоступну форму з будь-якої їжі з найвищим вмістом кальцію. Ці дослідження стали підставою для застереження, що високий вміст висівків у їжі може мати фізіологічним наслідком остеопороз кісток [37]. Однак цей висновок не підтвердився в інших як короткотермінових (4 тижні), так і довготермінових (2 роки) дослідженнях, в яких було чітко продемонстровано, що вживання з їжею висівків не має жодного істотного негативного впливу на зміну біомаркерів фізіологічного здоров'я кісток як у молодих, так і дорослих чоловіків-волонтерів [38]. Подібні висновки були зроблені в інших дослідженнях, а тому вірогідні дані, які вказували б на нега-

тивні наслідки впливу на метаболізм кісток дієти з вмістом пшеничних висівок, наразі відсутні [33].

Ефективність засвоєння організмом цинку також залежить від кількості вживаних фітатів. Клінічними дослідженнями доведено, що харчова дієта з високим вмістом фітатів (висівок) потребує додаткового поповнення цього мінералу через вживання інших багатих на цинк продуктів. Наразі дієти США і Канади з типовим співвідношенням фітати/цинк, що дорівнює 2, рекомендують додатково вживати 7,1 мг цинку для жінок і 9,0 мг цинку для чоловіків. Дієта США з співвідношенням фітати/цинк 8 рекомендує додатково 9,2 мг і 13,4 мг цинку для жінок і чоловіків, відповідно [39]. Отже, загальний висновок свідчить, що підвищене вживання цілюзернових продуктів (висівок) негативно пов'язане зі статусом цинку в організмі людини, RNI (reference nutrient intake) у цьому випадку потребує коригування [33].

До сьогодні серед вчених-нутриціологів немає консенсусу щодо впливу вживання висівок на біодоступність заліза [40]. Одні автори вважають, що висівки спричиняють негативний ефект на засвоєння заліза [41]. Інші ж такої залежності не спостерігають [42]. Однак у осіб вегетаріанців, у яких споживання фітатів загалом вище, ніж у осіб всеїдних, може спостерігатися дефіцит цинку й заліза, і запаси цих мінералів у організмі можуть потребувати корекції [43]. Водночас численні дослідження свідчать, що у вегетаріанців статуси цинку і заліза є цілком адекватними, що можна пояснити фізіологічною адаптацією ШКТ і його здатністю посилити абсорбцію цих мінералів, незважаючи на наявність в дієті фітинової кислоти [44]. Крім того, компоненти клітковини інулін та олігофруктоза діють як потенційні поліпшувачі біодоступності мінералів у рослинних дієтах з вмістом фітинової кислоти [45]. Такі каротиноїди як лікопін, лютеїн і зеаксантин також здатні на 8,4–14,4 % посилювати абсорбцію мінералів за вживання продуктів із пшениці [46]. Технологічні прийоми виготовлення продуктів із зерна пшениці (пророщування, ферментація, випічка), що спричиняють гідроліз фітатів, також істотно позитивно впливають на біодоступність мінералів [47].

Проте фітинова кислота пов'язана не лише з харчовими проблемами, вона виконує в організмі людини також і важливу позитивну харчову функцію. Наприклад, вона сприяє сповільненому всмоктуванню харчових компонентів у кишечнику, знижує вміст шкідливого холестерину в крові, протидіє гіперкальціємії і утворенню каменів у нирках, має антиканцерогенний ефект та виявляє антиоксидантну активність [33]. Антиоксидантна активність фітинової кислоти пов'язана з її здатністю хелатувати катіони заліза й міді [48].

Дієтична клітковина пшениці, вплив на здоров'я. Вміст різних видів дієтичної клітковини за ознакою розчинності: загальної, нерозчинної і розчинної клітковини у пшеничних висівках наведено у табл. 3.

Європейська рекомендована норма споживання дієтичної клітковини становить 25 г/день. Однак, наприклад, у Великій Британії фактичне денне вживання дієтичної клітковини становить лише 18 г. Загалом у Європі середнє денне споживання дієтичної клітко-

ТАБЛИЦЯ 3. Вміст різних видів клітковини за розчинністю у зерні і висівках пшениці [27]

Зерно, фракція	Загальна клітковина, г/100 г	Нерозчинна клітковина, г/100 г	Розчинна клітковина, г/100 г
Зерно пшениці	11,6—17,0	10,2—14,7	1,4—2,3
Висівки пшениці	36,5—52,4	35,0—48,4	1,5—4,0

вини варіює від 10 до 20 г серед дітей і 16—29 г серед дорослих (EFSA—2010, European Food Safety Authority). Це загальна рекомендація, що не враховує типи дієтичної клітковини [33].

Численні клінічні дослідження останніх років свідчать про важливу роль висівок пшениці, як джерела дієтичної клітковини і цінних харчових інгредієнтів, у протидії низці захворювань, зокрема тяжких, таких як різні види раку (особливо кишкового тракту), серцево-судинні патології, ожиріння, дивертикулярні хвороби, хронічний закреп і подразнення кишечника (IBS) [7].

Пшеничні висівки проти раку. Одне з найтяжчих захворювань людства — рак. Авторитетна європейська інституція The European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) з метою зниження ризику раку кишкового тракту (щонайменше на 40 %) рекомендує вживати дієту, насичену клітковиною [49]. Для прикладу, в одному з ранніх досліджень упродовж 4 років вивчали у волонтерів з родинними зв'язками вплив дієти з висівками пшениці на розвиток аденоматозного поліпозу (попередник раку кишечника). По закінченні періоду дослідження спостерігали істотне зниження кількості поліпів (зниження ризику раку) навіть у пацієнтів, які вживали всього 50 % від рекомендованої денної норми пшеничних висівок [50]. У іншому досліді було фіксовано вірогідне зниження вмісту фекальних жовчних кислот за систематичного вживання 13,5 г/день пшеничних висівок. Жовчні кислоти розглядаються як фактори підвищеного ризику раку кишечника [51].

Австралійський проєкт з попередження злоякісних поліпів (ARPP) повідомив, що у спеціальних дослідженнях дієта, яка включала 25 г/день пшеничних висівок, сприяла зниженню ризику виникнення злоякісних поліпів у кишечнику і може розглядатися превентивним харчовим чинником протидії злоякісним пухлинам кишечника [52].

За результатами проведених досліджень захисного ефекту пшеничних висівок проти ракових пухлин кишечника було запропоновано три механізми, які мали би пояснити цей феномен [53]. Перший механізм — це ефект розбавлення фізичною масою висівок, зниження концентрації у кишечнику канцерогенів і їх промоторів, короткий час транзиту калових мас у кишечнику й обмеження доступу канцерогенів до клітин епітелію кишечника. Пояснення другого механізму доповнює перший. Пшеничні висівки порівняно з іншими видами дієтичної клітковини (пектин, гуарова камедь, висівки вівса і целюлоза) найефективніше знижують концентрацію канцерогенів у кишечнику і забезпечують найкоротший час транзиту калових мас [54]. Третій механізм пов'язаний з ефектом ферментації висівок кишковими бактеріями і утворенням в результаті коротколанцюгових жирних

кислот (SCFA, short chain fatty acids), особливо бутенової та бутиратів. Коротколанцюгові жирні кислоти спроможні модулювати канцерогенез через їх ефект на проліферацію, диференціацію і апоптоз клітин колоноцитів, а також здатні стимулювати імунну систему кишечника. Причому ефекти SCFA на колоноцити відрізняються у нормальних клітинах і клітинах, трансформованих у ракові. Бутирати, наприклад, пригнічують ріст ракових клітин, і навпаки, стимулюють проліферацію нормальних клітин кишкового епітелію [55]. Незважаючи на те що висівки вівса, приміром, продукують у кишечнику більше бутиратів, ніж висівки пшениці, останні все ж показують вищу ефективність захисту кишечника проти ракових пухлин [56].

Є свідчення про ще один можливий захисний механізм пшеничних висівок від раку кишечника. Висівки пшениці пригнічують синтез ДНК і проліферацію клітин кишкового епітелію саме у пацієнтів з високим ризиком канцерогенезу [57].

Крім цих механізмів показано також, що фітати висівок блокують активацію ферменту PI-3 кінази, що зокрема посилює апоптоз ракових клітин і може слугувати захисним фактором проти розвитку колоректального раку [58]. Є також дані про те, що деякі компоненти висівок пшениці, такі як бета-ситостерол, можуть також сприяти захисту кишечника від раку [59].

І найновіші дані про захисні механізми пшеничних висівок проти колоректального раку свідчать, що серед них може бути явище, зумовлене ефектом синергізму між метаболітом кишкових бактерій SCFA бутиратом, який вони синтезують переробляючи висівки, та одним з основних фітохімічних компонентів пшеничних висівок 5-*n*-алкілрезорцинолом C21 (21 атом вуглецю в молекулі). В результаті синергічного антиракового ефекту пригнічується злоякісний ріст і активується апоптоз клітин ракової пухлини (рис. 2).

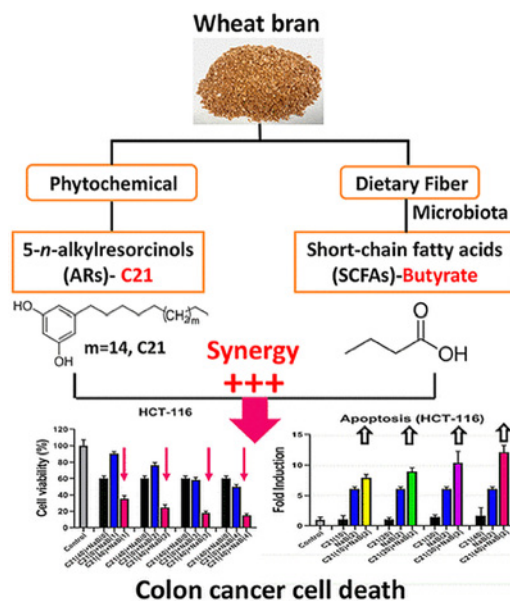


Рис. 2. Механізм синергічної захисної дії висівок пшениці проти раку кишечника [60]

Проте пшеничні висівки здатні попереджувати і блокувати злоякісні пухлини не лише кишечника. Подібний ефект пшеничних висівок помічений також у зв'язку з раковими пухлинами грудей у жінок на стадії пре-менопаузи. В якості механізму причинного зв'язку ефекту висівок із раком грудей вважають, що клітковина висівок здатна зв'язувати і виводити з організму гормон естроген, який безпосередньо є причиною появи злоякісних пухлин цього органа [61].

Пшеничні висівки мають також потужні антиоксидантні властивості, оскільки багаті на флавоноїди, фенольні кислоти, токоферолі, лігнани, фітостеролі і каротиноїди, які мають цілий ряд позитивів для здоров'я [62]. Антиоксидантні властивості пшеничних висівок пов'язані насамперед із наявністю фенольних кислот, особливо ферулової кислоти, яка знаходиться у висівках у зв'язаному нерозчинному стані. Важливо, що технологічні операції, такі як помел зерна, електростатична сепарація помелу, ультратонке подрібнення зерна не лише підвищують біодоступність фенольних кислот та інших біоактивних компонентів пшеничних висівок, а й підвищують активну площу біоактивної поверхні та її антиоксидантну спроможність, що робить висівки вельми корисним для здоров'я функціональним харчовим інгредієнтом [63].

Висівки пшениці й серцево-судинні патології. Наразі виконано достатньо багато ґрунтовних наукових досліджень, які свідчать про здатність висівок пшениці, як компонента харчування, знижувати ризик коронарної хвороби серця і загалом ризик серцево-судинних захворювань [64]. Одним із найдослідженішим і достеменно доведеним експериментально є ефект пшеничних висівок на вміст у кров'яному руслі холестерину. В одному досить коректно поставленому клінічному досліді упродовж трьох тижнів волонтери харчувалися сніданком із вмістом 13,5 г клітковини у формі пшеничних висівок. Наприкінці досліді у пацієнтів спостерігали зниження холестерину у сироватці крові в середньому від 5,576 до 4,385 ммоль/л [65]. У іншій масштабній роботі досліджували залежність між харчовою дієтою з вмістом висівок різних злаків, включно з пшеничними, та ризиком серцево-судинних захворювань. По завершенню дослідження зроблено висновок, що дієта з включенням висівок дає змогу помітно знизити вміст холестерину у сироватці, вміст шкідливих ліпідів, вміст глюкози в крові, поліпшити серцеві функції, нормалізувати артеріальний тиск, контролювати масу тіла, а вживання висівок може бути взагалі стратегією у зниженні ризику коронарної хвороби серця [66].

Найповніший аналіз досліджень зв'язку між вживанням висівок і серцево-судинними захворюваннями виконаний групою фахівців з наукових установ Австралії і Великої Британії. Автори цього дослідження зробили системний аналіз 1909 наукових праць, опублікованих до 2018 р., в яких вивчали вплив висівок, як компонента харчування, на комплекс біомаркерів, пов'язаних з серцево-судинними захворюваннями. В результаті цього масштабного аналізу зроблено беззаперечний висновок про те, що вживання висівок у вигляді цільнозернових продуктів, чи продуктів з додаванням висівок, чітко пов'язано зі зниженням ризику серцево-судинних захворювань. Діє-

тична клітковина, а також інші харчові компоненти, що входять до складу пшеничних висівків, відіграють надзвичайно важливу роль як потужні кардіопротекторні чинники. У випадках, коли в їжу використовували продукти із цільного зерна, а не безпосередньо додані висівки, описаний зв'язок був дещо нижчим і затухав, коли з дієти висівки були вилучені взагалі. Автори також підсумовують, що крім дієтичної клітковини у висівках наявні й інші доволі потужні кардіопротекторні чинники, роль яких має бути достеменно вивчена. Автори дослідження наголошують, що отримані ними фундаментальні узагальнені висновки про роль висівків у зниженні ризику серцево-судинних захворювань мають бути неодмінно враховані у публічних ініціативах, спрямованих на популяризацію здорового харчування, а також у дієтичній практиці. Також потрібно наголошувати не лише на користі вживання цільнозернових продуктів, а особливо зосереджувати увагу на вживанні продуктів з додаванням висівків, де дозу доданих висівків можна регулювати залежно від клінічних рекомендацій. Понад те, додавання висівків до цільнозернових продуктів ще більше підвищує кардіопротекторний ефект здорової їжі. Автори наполягають на необхідності подальших досліджень з метою вивчення механізмів протекторної дії висівків проти серцево-судинних захворювань, а також вивчення ролі окремих компонентів висівків у протидії серцевим і судинним патологіям, визначенні протекторних ефектів висівків залежно від доданої до їжі дози висівків. Всі ці системні знання мають бути доведені до практичного використання у харчовій індустрії. Автори зазначають, що вкрай важливо у подальшому опрацювати послідовну, методологічну й кількісну систему для розрахунків і рекомендацій щодо вживання цільнозернових продуктів та продуктів з доданими висівками [67].

Висівки пшениці, антидіабетичні властивості. На цукровий діабет типу 2 страждають 30 млн людей у світі. За період від 2000 по 2025 рр. число хворих на цю недугу подвоїться. Цукровий діабет є причиною 3,2 млн смертей у світі щорічно, і ця кількість невпинно зростає [68]. Дослідження останніх років свідчать, що пшеничні висівки, які досі використовувалися у світі лише як корм для тварин та з індустріальною метою, можуть успішно використовуватися як харчовий компонент для усунення ускладнень зі здоров'ям, пов'язаних із цукровим діабетом [69].

Цій темі присвячений фундаментальний огляд численних досліджень, зроблений індійськими вченими [70]. У ньому наведено досить багато прикладів позитивного зв'язку висівків, як компонента харчування людей і корму для тварин, з можливістю ефективного гіпогліцемічного контролю рівня цукру у кров'яному руслі як людей, так і тварин. Одним із компонентів висівків з потужним гіпогліцемічним ефектом є алкілрезорциноли. Крім алкілрезорцинолів гіпогліцемічний ефект зафіксовано у кількох біоактивних пептидів, що містяться у висівках пшениці, зокрема лейцинаргінінпроліну та лейцинглутамінпроліну. Вони беруть участь у репресії ферменту angiotensin 1-converting, який є однією з причин оксидативного стресу, а також містять амінокислоту лейцин, яка бере участь у молекулярному гілкуванні білкової молекули і регулюванні ліпідного мета-

болізму через активацію АМР-активованої протеїнкінази (АМРК) з сигнальними функціями. Адже посилений оксидативний стрес і зниження функції АМРК є головними патогенними чинниками неалкогольного стеатогепатиту (запальне хронічне захворювання печінки, пов'язане з інсулінрезистентністю). Ці аутолітичні пептиди пшеничних висівок розглядаються як потенційні лікарські засоби проти стеатогепатиту.

Фітинова кислота висівок також спричинює гіпогліцемічний ефект опосередковано через кілька механізмів, таких як, наприклад, зв'язування з протеїнами, тісно асоційованими з крохмалем, зв'язування з травними ферментами, хелатування кальцію, необхідного для активації альфа-амілази, безпосереднє зв'язування з крохмалем, вплив на желатинізацію крохмалю у кулінарних процесах. Автори огляду роблять висновок про надзвичайну цінність висівок пшениці у харчуванні хворих на діабет типу 2. Висівки не можна вважати радикальним харчовим чинником проти цукрового діабету, однак вони здатні істотно знизити дегенеративні явища, які тісно пов'язані з наслідками цієї тяжкої патології. Автори особливо звертають увагу на потенційні лікувальні властивості препаратів, отриманих за різними технологіями екстракції із пшеничних висівок біоактивних компонентів розчинниками [71].

Пшеничні висівки і здоров'я шлунково-кишкового тракту. Висівки тісно пов'язані зі швидкістю та ефективністю транзиту калових мас через кишковий тракт (КТ), що надзвичайно важливо як для здоров'я ШКТ, так і для здоров'я всього організму, оскільки калові маси містять токсини і канцерогени, та чим довше вони перебувають у кишечнику, тим вищий ступінь інтоксикації організму [72]. Загалом швидкість транзиту калових мас через КТ має низку позитивних ефектів, перелічених у табл. 4.

Ефект прискореного транзиту калових мас через КТ особливо помітний за вживання клітковини злаків, насамперед у формі некрохмалистих поліцукридів, на вміст яких багаті висівки пшениці [73]. Особливо важливо, що висівки пшениці мають настільки сильний ефект на швидкість транзиту калових мас і ефективність випорожнення КТ, що вони прийняті як референтний стандарт при порівнянні за цією характеристикою інших продуктів харчування [72].

Механізм ефективності висівок у їх дії на швидкість транзиту калових мас криється у тому, що вони сприяють істотному збільшенню об'єму і маси випорожнення. Встановлено, що вживання 30 г висівок в день асоційовано зі зростанням до 52,4 г маси сирого випорожнення [74]. Причому пшеничні висівки сприяють збільшенню вмісту у калових масах таких цукрів як глюкоза, арабіноза, ксилоза та маси перетравленого рослинного матеріалу порівняно з висівками, наприклад, вівса. Однак висівки вівса мають сильніший ефект порівняно з висівками пшениці на ріст і накопичення у КТ бактеріальної маси.

За вживання висівок пшениці збільшення об'єму калових мас пов'язано переважно з неперетравленою клітковиною (50—60 %) та часткою бактеріальної маси (12—17 %), при цьому частка води у калових масах не підвищується [75].

ТАБЛИЦЯ 4. Позитивні ефекти висівок на транзит калових мас кишечника [72]

Процес	Ефект
Випорожнення	Швидкість транзиту
Швидкість транзиту	Видалення токсинів, скорочення тривалості контакту калових мас зі стінками кишечника, скорочення часу транзиту, поповнення субстратів для ферментації — зниження ризику раку кишечника
Зменшення тривалості транзиту	Зменшення тривалості путрифікації білків до токсичних компонентів, зменшення часу дегідратації і твердіння калових мас
Підвищення гідратації	Розбавлення калових мас і м'яке випорожнення, зниження ризику дивертикуліту і геморою
Заміщення субстратів ферментації	Поповнення субстратів бактеріальної ферментації і бактеріального розмноження, ферментативне продукування бутиратів бактеріями — захист від канцерогенезу, синтез коротколанцюгових жирних кислот знижує розчинність канцерогенних жовчних кислот
Зв'язування і утворення комплексів	Зниження вмісту токсинів і канцерогенної активності
Перерозподіл кишкового тиску	Зниження ризику дивертикуліту і геморойдних процесів
Зниження напруги при випорожненні	Стимулювання дефекації, попередження стагнації
Дефекація	Дигестивний комфорт, поновлення синтезу серотоніну, комфортне самопочуття

Підвищення об'єму калових мас, що тісно пов'язане з їх транзитом в КТ, залежно від складу харчового раціону слугує важливим показником функціонування КТ. Так, навіть європейські інституції, такі як European Food Safety Authority та UK Scientific Advisory Committee визначили, що 1 г пшеничних висівок збільшує калові маси до 5 г, тоді як клітковина фруктів і овочів — 4,1 г, псиліум (лушпиння індійського подорожника) — 4 г, продукти із сої — 2,5 г, і пектин найменше — 1,2 г (SACN, Scientific Advisory Committee of Nutrition, 2008). Висівки пшениці особливо ефективно впливають на транзит калових мас. Установлено, що додавання до харчового раціону всього 20 г висівок щоденно зменшує час транзиту від 2,75 до 2,0 днів. Водночас висівки пшениці здатні знизити надто швидкий транзит (менше ніж 1 день). Імовірною причиною впливу пшеничних висівок на швидкість транзиту калових мас є високий вміст у висівках целюлози і геміцелюлоз, які ефективно пом'якшують консистенцію калових мас і випорожнень. Нерозчинна клітковина, як основний компонент пшеничних висівок, не може бути ферментованою кишковою мікробіотою, саме тому вона підвищує об'єм калових мас та скорочує тривалість транзиту калових мас і полегшення випорожнення кишечника. Розчинна ж клітковина висівок ферментується кишковою мікрофлорою, що приводить до росту бактеріальної маси, а відтак об'єму і маси випорожнень [33, 76].

Пшеничні висівки як пребіотик. Роль кишкової мікрофлори у функціонуванні організму людини є стратегічно важливою у сенсі позитивного впливу на здоров'я. Водночас склад і функціонування кишкової мікрофлори значною мірою залежать від харчової дієти та вмісту в ній пребіотиків. Пребіотики за визначенням — це непере-

травлювані харчові компоненти, які селективно позитивно впливають на розмноження і функціонування одного чи лімітованого числа видів кишкових бактерій [77]. Останнім часом активно зростає кількість експериментальних доказів позитивного впливу пребіотиків на здоров'я кишечника, а також на зниження ризику раку КТ і серцево-судинних патологій [65]. Компоненти-пребіотики розчинної дієтичної клітковини пшеничних висівків, включно з бета-глюканами, ферментуються кишковою мікрофлорою до коротколанцюгових жирних кислот (SCFA), що приводить до фізіологічних змін у функціонуванні кишечника, поліпшується випорожнення, водопоглинальна спроможність кишкової маси і в'язкість вмісту кишечника. Бутанова кислота і її солі бутирати слугують біологічним «паливом» колоноцитів кишкового епітелію, а також знижують рН кишечника, протидіючи розвитку патогенних бактерій. Виявлено важливі позитивні зміни у функціонуванні мікрофлори кишечника після вживання пшеничних висівків у вигляді цільнозернових продуктів, що виявлялося у зміні маркерів функціональної активності кишечника, включно з вмістом ферулової кислоти та SCFA [65].

Пшеничні висівки проти ожиріння. Епідеміологічні дослідження однозначно вказують на зворотний зв'язок між вживанням дієтичної клітковини і надлишковою масою тіла та ожирінням. Дієта з вмістом клітковини сприяє швидкому насиченню та зниженню вживання з їжею надлишкової енергії [78]. Завдяки в'язкій консистенції розчинна клітковина пшениці має сильний ефект як чинник, що регулює зниження апетиту і надмірне вживання їжі. Понад те, вона також впливає на активність апетитрегулювальних гормонів [79].

Поліаміни у висівках пшениці. Розглядаючи висівки пшениці як надзвичайно цінний продукт для здоров'я людини, слід акцентувати увагу також на ще одній важливій особливості висівків, пов'язаній із зародком пшениці, який є невід'ємною частиною технологічних висівків. Йдеться про складові компоненти зародка пшениці, роль яких за впливом на здоров'я людини важко переоцінити — це поліаміни.

Поліаміни наявні в усіх живих організмах, але серед досліджених об'єктів найвища їх концентрація знайдена у зародках пшениці (рис. 3).

Поліаміни — це низькомолекулярні азотисті речовини, які синтезуються на основі амінокислоти орнітину за участі ензиму орнітин-декарбоксилази. У молекулярній структурі поліамінів наявні одна або кілька аміногруп, що класифікуються як спермідин, спермін і путресцин. Їх хімічна структура відрізняється високою стабільністю та резистентністю до кислот і лугів, але вони добре розчинні в гідроксильних середовищах, таких як вода й алкоголь [81]. Поліаміни беруть участь у багатьох стратегічно важливих процесах, таких як проліферація та диференціація клітин, біосинтез білків, транскрипція РНК, стабілізація негативного заряду ДНК, апоптоз клітин, ревіталізація (відновлення життєдіяльності) клітин, і мають також антиоксидантні властивості [82]. Численні дослідження доводять надважливу роль поліамінів у підтримці здоров'я людини [83]. У зв'язку з антиоксидантним і протизапальним ефектами вони відігра-

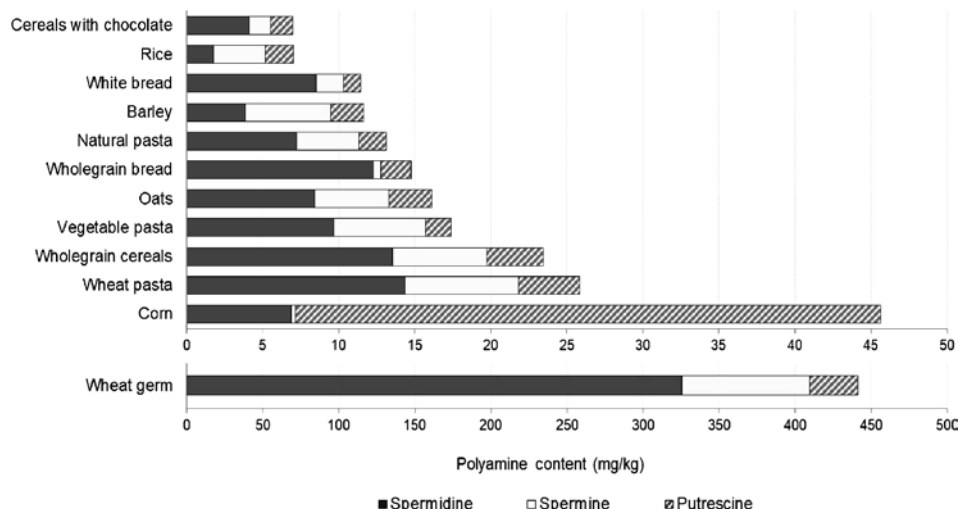


Рис. 3. Поліаміни (спермідин, спермін, путресцин) у різних харчових продуктах (мг/кг) [80]

ють помітну роль у попередженні таких хронічних патологій, як серцево-судинні (гіпертензія, патології серця, міокардіальний фіброз) та діабет [84]. Понад те, поліаміни тісно пов'язані із захисним ефектом проти старіння організму і характеризуються як біоактивні сполуки-промотори, що сприяють подовженню тривалості життя [85]. Вони також індукують аутофагію і знижують ацетилювання гістонів, які є критичними процесами у клітинному гомеостазі та старінні організму [86].

Як видно з рис. 3, зародки пшениці (читай висівки) є фактично концентратом спермідину — найціннішого з поліамінів (325 мг/кг).

Препарат спермідину із зародків пшениці виробляє, наприклад, фармацевтична промисловість США, і він нині також доступний в Україні за ціною 4000 грн за 90 капсул. Препарат рекомендується для щоденного вживання як цінна БАД з антивіковою функцією (рис. 4).

Нова гіпотеза захисних для здоров'я механізмів цільнозернових злаків. У 2010 р. у авторитетному виданні Nutrition Research Review опублікована фундаментальна (70 сторінок тексту) праця французького автора Ентоні Фаде (Antony Fadet) [7] з INRA, у якій на основі ретельного системного аналізу 1029 джерел літератури сформульована нова гіпотеза щодо протекторних механізмів комплексу біоактивних компонентів цільнозернових злаків. Звичайно ж, коли йдеться про цільнозерновий продукт і його значення для здоров'я, то це стосується насамперед периферійних шарів зерна (оболонка + алеїроновий шар + зародок = висівки), де зосереджена вся, або практично вся,



Рис. 4. Препарат спермідину із зародків пшениці виробництва США

біологічна цінність цілого зерна. В цій праці висвітлене значення майже всіх компонентів цілого зерна, як кожного окремо, так і у комплексі, у процесі захисту організму людини від тяжких захворювань, таких як рак, цукровий діабет типу 2, серцево-судинні патології, а також вплив цих компонентів на здоров'я кишкового тракту, масу тіла, здоров'я кісток скелету, ментальне здоров'я та інші важливі функції організму людини.

Автор статті наголошує на нагальній необхідності мінімізації вживання населенням продуктів із рафінованого білого борошна пшениці та радикального збільшення частки у харчуванні цільнозернових продуктів. Він акцентує увагу на тому, що технологія переробки цілого зерна має забезпечувати, за можливості, максимальне збереження природної структури периферійних шарів зернівки.

Автор також формулює цікаву концепцію «цільнозернового паку» (whole grain package), в основі якої лежать експериментально доведені свідчення, що головний позитивний ефект на здоров'я людини мають не стільки окремі компоненти цілого зерна, скільки їх інтегральні ефекти у взаємодії (синергізмі) компонентів зерна. Ця концепція ілюструється серією науково обґрунтованих прикладів. Так, до захисту проти ожиріння/маси тіла, серцево-судинних патологій, діабету типу 2, раку, здоров'я кишкового тракту, ментального здоров'я і патологій нервової системи, здоров'я кісток скелету причетні у взаємодії щонайменше відповідно 10, 34, 17, 32, 10, 27, і 17 різних біоактивних компонентів або груп компонентів (олігоцукриди, токоли, фенольні кислоти, флавоноїди, сапоніни, інозитолі, гаморизанол, лігнани і алкілрезорцини). Прикметно, що лише до забезпечення антиоксидантного захисту організму причетні щонайменше 30 компонентів (або груп компонентів), які загалом становлять щонайменше 3,9 %, 13,4 і 6,3 % цілого зерна пшениці, пшеничних висівків і фракції зародка відповідно. Оскільки більшість залежних від віку патологій пов'язані з оксидативним стресом, регулярне вживання цільнозернових продуктів спроможне захистити від цих недугів всі вікові категорії людей, особливо осіб похилого віку [7].

Кольорові висівки — новий рівень біологічної цінності зерна. З 90-х років минулого століття в селекції пшениці почав зароджуватися принципово новий тренд, який нині набирає потужних обертів у багатьох країнах світу. Наразі цей тренд охоплює 60 науково-дослідних і селекційних установ в 16 країнах світу, включно з Україною [87]. Йдеться про пшениці з кольоровим фіолетовим, синім і чорним зерном, одна з перших публікацій про які датується 1991 р. [88].

На тему кольорової пшениці тепер вже опубліковано сотні біохімічних, клінічних і селекційно орієнтованих досліджень, які доволі системно представлені в фундаментальному огляді групи вчених з Індії, де тема пшениці з кольоровим зерном є особливо привабливою [87]. Індійські автори посилаються на 103 публікації, серед яких згадується і наша праця, присвячена саме цій темі [89].

Забарвлення зерна кольорової пшениці зумовлено пігментами антоціанінами і регулюється фактором транскрипції bHLH-MYC.

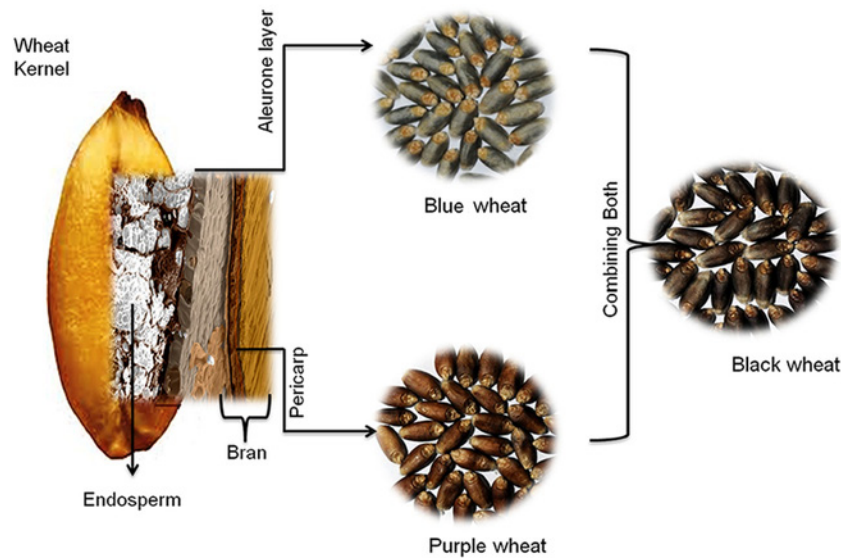


Рис. 5. Колір зерна пшениці залежно від локалізації пігментів антоціанінів: синій колір (алеїроновий шар), фіолетовий колір (перикарп, оболонка), чорний колір — комбінація синього з фіолетовим [87]

Кольорова пшениця представлена головню трьома барвами: синя, фіолетова і чорна залежно від типу антоціанінів та їх локалізації в анатомічних структурах зернівки (рис. 5) [87].

Колір зерна пов'язаний не лише з високим вмістом антоціанінів, а й тягне за собою також підвищення вмісту у зерні вітамінів і мікроелементів, особливо заліза й цинку. Антоціаніни виявляють високу антиоксидантну і протизапальну активність, захищають клітини від деструктивної дії вільних радикалів, мають широкий спектр позитивної дії на організм людини, пов'язаний із захистом проти метаболічних синдромів, таких як ожиріння, цукровий діабет, гіпертензія і дисліпідемія, захист проти раку і серцево-судинних патологій, сповільнення старіння, нейропротекторна дія, а сорти пшениці з кольоровим зерном і високим вмістом антоціанінів однозначно мають високий функціональний харчовий статус [90–93].

Як видно з рис. 5, пігменти синього кольору локалізовані в алеїроновому шарі зернівки, фіолетовий колір наявний в оболонці зерна (перикарпі), а чорний колір комбінує водночас синє і фіолетове забарвлення. Цілком очевидно, що пігменти антоціаніни, які зумовлюють перелічені кольори зерна, знаходяться в периферійних анатомічних шарах зернівки, й за помелу зерна переходять у фракцію технологічних висівок.

Ціанідин, дельфінідин, мальвідин, пеларгонідин, пеонідин, пентунідин — найпоширеніші антоціаніни і є глікозидами антоціанідинів. Вони широко розповсюджені у кольорових ягодах, фруктах, квітах і кольорових злаках включно з пшеницею, що ілюструє рис. 6 [87].

Фіолетове зерно пшениці містить переважно пігмент ціанідин, у синьому зерні домінує пігмент дельфінідин, а чорне комбінує обидва типи пігментів. Кількісний вміст антоціанінів у зерні звичайної

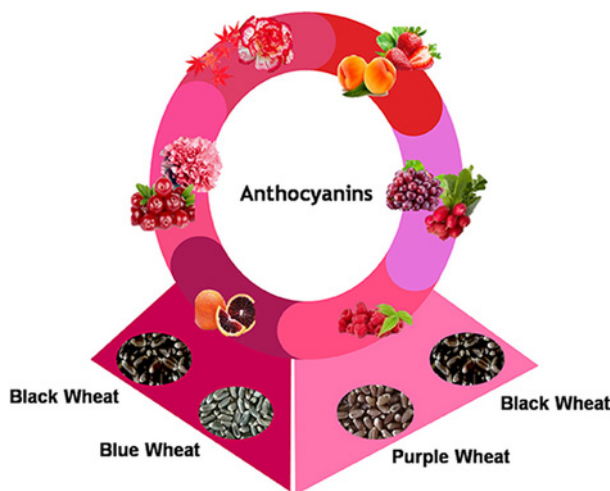


Рис. 6. Антоціаніни у кольоровому зерні пшениці, кольорових фруктах і квітах [87]

пшениці ~5 мг/кг, у фіолетовій пшениці ~40 мг/кг, у синьїй ~80 мг/кг і у чорній ~140 мг/кг.

Культурна пшениця має переважно червоний колір зерна, зрідка білий, а такі кольори зерна, як синій, фіолетовий і чорний у сортів культурної пшениці раніше не зустрічалися. Гени, що контролюють ці екзотичні для культурної пшениці кольори, перенесені до неї віддаленим схрещуванням з дикорослими і деякими культурними співродичами, зокрема *Triticum aethiopicum*, *Aegilops speltoides*, *Agropyron tricholophorum*, *Agropyron glaucum*, *Agropyron elongatum*, *Triticum boeoticum*, *Triticum monococcum*, *Thinopyrum ponticum*, *Thinopyrum bessarabicum*, *Thinopyrum elongatum*, *Secale cereale* та ін.

Фіолетовий колір кодують три домінуючих алелі *Pp-1* у хромосомі 7BL, позначені як *Pp-B1* (хромосома 7B від *T. durum*, 7S від *Ae. speltoides*), *Pp-D1* хромосома 7D (*T. aestivum*) і *Pp3 2A* (хромосома 2A) [94]. Синій колір алеїрону кодують домінуючий ген *Ba1* (від хромосоми 4AgL *Ag. elongatum*) і напівдомінуючий *Ba2* (хромосома 4A від *T. monococcum*), домінуючі гени *Ba(c)* від *Th. bessarabicum* і *Ba(d)* від *Th. ponticum* [95, 96].

Вже відомо досить 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 [87]. Індійські фахівці декларують, що незабаром усі сорти пшениці у їхній країні будуть кольоровими. Наш китайський колега професор Zhang Zhengmao, керівник нещодавно створеного International Silk Road Wheat Innovation Alliance, повідомив, що в Китаї спеціально заснований консорціум зі створення і дослідження сортів пшениці з кольоровим зерном.

Індія і Китай, величезні країни з мільярдним населенням, є світовими лідерами зі створення і всебічного дослідження сортів пшениці з кольоровим зерном. На рис. 7 подано зразки борошняних харчових продуктів із цільного зерна сортів кольорової пшениці, які зараз виробляє харчова промисловість Індії. Серед цього переліку



Рис. 7. Харчові продукти із цілнозернового борошна кольорової пшениці [87]

практично всі ті ж продукти, що виробляються із борошна звичайних сортів пшениці, але ці ж вироби із кольорових сортів пшениці виготовляються винятково із цілнозернового борошна.

В Україні наразі дві наукові селекційні установи мають програми створення сортів пшениці з кольоровим зерном. Це Селекційно-генетичний інститут — Національний центр насіннєзнавства та сортовивчення НААН України (м. Одеса) та Інститут фізіології рослин і генетики НАН України (м. Київ).

Нами вже створено і занесено до Держреєстру сортів України два сорти пшениці з кольоровим зерном, такі як Чорноброва і Чорнозерна. Також вперше у світовій практиці створено сорти чорнозерної пшениці-спельти. Подібних сортів досі ніколи не було в Україні. Цільовим завданням наших селекційних програм є створення сортів пшениці саме з чорним зерном, яке комбінує синій колір в оболонці зерна і фіолетовий колір в алеїроновому шарі зернівки (рис. 8).

Створити інноваційні сорти пшениці, яких ніколи раніше не було в Україні, це складно, але можливо, і ми це зробили. Проте розпочати виробництво функціональних харчових продуктів із зерна і борошна цих сортів — це завдання виявилось надзвичайно складним і невідомим для наших наукових установ. Адже така робота «з нуля» потребує неабиякого ризику, оскільки продукти із кольорових сортів абсолютно невідомі споживачеві. Потрібна потужна реклама, впровадження інноваційних продуктів на харчовий ринок, що пов'язано з великими фінансовими витратами, які невідомо коли повернуться прибутками.

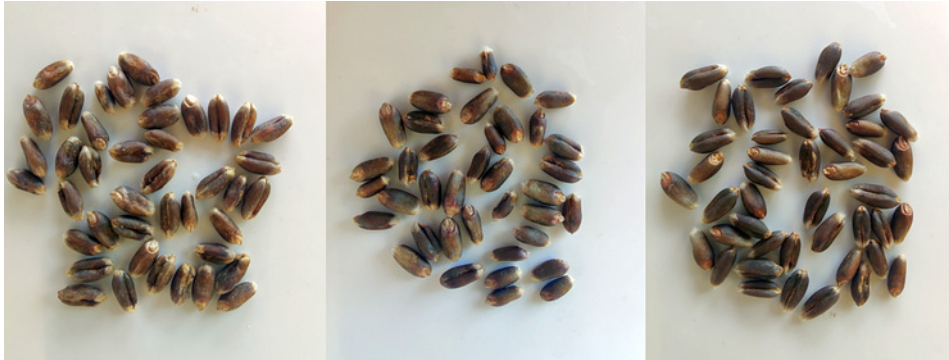


Рис. 8. Селекційні лінії пшениці з чорним (синій + фіолетовий) зерном

На наше щастя, за цю нелегку і ризиковану справу взявся приватний сімейний бізнесовий альянс насінневої агрокомпанія «Biligrain» та мережа промислових пекарень «Мамин хліб», що на Хмельниччині, якими володіє сім'я підприємців і неймовірних творчих ентузіастів пан Білявець Олег і його дружина пані Білявець Олена.

Як результат творчої співпраці вчених і підприємців на харчовому ринку України з'явилися перші продукти, виготовлені із цільнозернового борошна кольорової пшениці й пшениці спельти (рис. 9). Особливістю цих продуктів є темно-коричневий 100 % натуральний колір, зумовлений вмістом пігментів антоціанінів з високою антиоксидантною активністю. Натуральний колір цих продуктів є докорінною відмінністю від борошняних продуктів, що нині продаються



Рис. 9. Перші продукти із цільнозернового борошна кольорової пшениці й пшениці спельти:

а — цільнозернові макарони; б — хліб із борошна пшениці спельти; в — хліб із борошна кольорової пшениці

в супермаркетах України, бо ці продукти містять побічні барвники, такі як карамелізований цукор, патока та інші. Крім того, продукти із цільнозернового борошна сортів пшениці з кольоровим зерном мають підвищений вміст вітамінів, мінералів, дієтичної клітковини та багатий комплекс біоактивних, цінних для здоров'я компонентів, що містяться в оболонці, алейроновому шарі й зародку (висівках) пшеничного зерна.

Аналіз теми кольорової пшениці дає підстави зробити дуже важливий висновок. З огляду на те, що пігменти антоціаніни з високою антиоксидантною активністю і, як наслідок, високою функціональною цінністю для здоров'я людини, зосереджені у периферійних шарах зернівки (висівках), це означає, що кольорові пшениці з максимально ефективною користю для здоров'я можна використовувати для виготовлення харчових продуктів безальтернативно і лише тільки у вигляді цільнозернового борошна (хліб і хлібо-булочні вироби), або цілого чи подрібненого зерна (пластівці, крупи). Відсів висівок за помелу кольорової пшениці на борошно стандартного 70 % виходу призводить до втрати з видаленими висівками лівової частки біологічної цінності кольорового зерна та його високих харчових характеристик. Рафіноване біле борошно кольорової пшениці практично майже нічим не відрізняється від борошна звичайної хлібопекарської пшениці.

Інакше кажучи, все що було написано в цій статті раніше про користь пшеничних висівок і цільнозернових продуктів, інтегрально фокусується у кольорових пшеницях, які безальтернативно мають використовуватися винятково для виробництва цільнозернових продуктів без відсіву надзвичайно біологічно цінної фракції висівок.

Ферментоване цільнозернове борошно. Ферментація є найдавнішою біологічною технологією, яка застосовувалася ще на світанку життя людства при виготовленні продуктів із жорнового пшеничного борошна. Ферментоване тісто забезпечує задовільний об'єм хліба, м'якість та еластичність виробу, сприяє харчовій цінності й тривалості зберігання готового продукту. Загалом використання заквасок, як розпусувального агента для ферментації, розцінюється фахівцями як «золотий стандарт» у хлібопеченні [97].

Технологія ферментації цільного борошна пшениці має вже достатньо тривале і широке застосування у багатьох країнах світу, а накопичений досвід використання цієї технології узагальнений у нещодавньому огляді китайських вчених і технологів [98].

Найпоширенішими культурами лактобацил, що широко використовуються під час ферментації цільного борошна пшениці, є *Lactobacillus sanfranciscensis* (heterofermentative), *Lactobacillus plantarum* (homofermentative), *Lactobacillus brevis* (heterofermentative), *Pediococcus pentosaceus* (homofermentation), *Lactobacillus paralimentarius*. Найадаптованіші до різних умов ферментації *L. sanfranciscensis*, *L. plantarum*, *L. pontis* (heterofermentative) та *L. rossiae* (heterofermentative) [99]. Більшість культур гетероферментативні, тобто коли ферментація дає водночас кілька продуктів (наприклад, молочну кислоту й етанол), тоді як гомоферментативна ферментація дає лише один продукт.

Ферментоване тісто із цільнозернового борошна, на відміну від тіста із рафінованого білого борошна, має низку технологічних недоліків, які становлять певні труднощі для пекаря. Найперше — це негативний вплив висівок на заміс та стабільність реології ферментованого тіста і, як наслідок, порушення молекулярної і фізичної структури тіста, порушення взаємодії клейковинних білків з крохмалем. Тому при роботі з ферментованим цільнозерновим тістом технолог повинен мати досвід роботи і знання, аби забезпечити стабільність якості продуктів з ферментованого тіста.

Водночас у ферментованому тісті відбувається безліч біохімічних реакцій і активних процесів, які не властиві тісту із білого рафінованого борошна. Головне те, що ці процеси приводять до істотного поліпшення харчової й поживної цінності продуктів із ферментованого тіста [100].

За ферментації першими компонентами, які деградують під дією ферментів, є крохмаль і некрохмалисті поліцукриди. Завдяки активності ферменту ксиланази максимізується розчинення водонерозчинних арабіноксиланів, які разом з розчинними арабіноксиланами є відмінними гідроколоїдами, що значно поліпшують властивості ферментованого тіста [101]. Ферментація зумовлює специфічне набрякання гранул крохмалю, а деякі поліози, як продукти ферментації, сприяють росту корисної для здоров'я кишкової мікрофлори. Лактоферментація крохмалю продукує цілий спектр моноцукридів. Моноферментативні лактобактерії утворюють моноцукриди глюкозу, фруктозу, мальтозу, цукрозу, ізомальтозу і декстрини. Гетероферментативні культури продукують кілька моноцукридів водночас [102].

Лактогідроліз білків клейковини — один із найважливіших процесів у ферментованому цільнозерновому тісті. Ферментація призводить до зниження рН середовища і підвищення розчинності клейковинних білків, що активізує їх розщеплення. Лактобацили продукують фермент глутатіонредуктазу, яка сприяє трансформації окисненого глутатіону до глутатіону, який у свою чергу впливає на кількість міжмолекулярних ковалентних дисульфідних зв'язків, руйнуючи макромолекулярний комплекс клейковини та вторинну структуру білків, активуючи процес деполімеризації білків клейковини [103]. Звичайно ж, ферментація негативно впливає на деякі реологічні характеристики тіста, хоча розтяжність тіста, як важливий реологічний компонент, особливо для об'єму хліба, помітно поліпшується [104].

Чільне місце у ферментації цільнозернового борошна займає процес продукування органічних кислот, таких як молочна і оцтова, які знижують рН середовища, сприяють гідролізу білків клейковини, поліпшують смакові характеристики кінцевого продукту [105].

Фітинова кислота (фітати), на вміст якої багате цільнозернове борошно, як згадувалося, має як позитивний, так і негативний вплив на організм людини. Негатив фітинової кислоти полягає у зв'язуванні в біонедоступну для засвоювання форму важливих мінералів. За ферментації борошна активуються такі ферменти, як фітаза, ксиланаза і амілази. Ферментація заквасками і активація фітази сприя-

ють зниженню вмісту фітинової кислоти. В умовах зниження рН вміст фітинової кислоти зменшується більш як на 70 %, а такі мінерали, як Ca, Mg, Fe і Zn стають біодоступними [106].

Лактоферментація є одним із найпотужніших, безпечних і найдієвіших чинників інактивації та зниження вмісту таких антипоживних речовин, як рафіноза (зниження 62—80 %), таніни (243 %), інгібітори трипсину (23—44 %) і сапоніни (68 %) [107]. Понад те, лактобацили продукують ензими, які здійснюють деградацію і детоксикацію мікотоксинів, наприклад афлатоксину В1. Продовжена ферментація цільнозернового борошна лактобацилярними культурами істотно знижує вміст і токсичність таких токсинів, як дезоксиніваленол, дезоксиніваленол-3-глюкозид, зеараленон [108].

Слід особливо наголосити, що лактоферментація істотно блокує утворення акриламід у ферментованих продуктах, на відміну від традиційних технологій випічки з термофільними дріжджами [109]. Акриламід — це канцероген, нейротоксин і генотоксин, який утворюється у харчових продуктах в результаті реакції Мелларда (Maillard) за участі амінокислоти аспарагіну і відновлювальних вуглеводів (наприклад, глюкози) за температури 120 °C і вище [110].

Важливо також, що лактоферментація продукує антиоксидантні речовини, зокрема феноли, активні пептиди, супероксиддисмутази і відновлений глутатіон, останній як неферментний антиоксидант нейтралізує вільні радикали [111].

Ферментація істотно поліпшує органолептичні характеристики готового продукту — зовнішній вигляд, смак, аромат та відчуття продукту на дотик. Ферментований хліб має вищий питомий об'єм, еластичність і пружність, шпаристість, текстуру. Ферментація нейтралізує негативний ефект висівок на питомий об'єм готового продукту [112]. Ферментований цільнозерновий хліб значно ароматніший за дріжджовий завдяки утворенню чисельних летючих компонентів, таких як органічні кислоти, ефіри, спирти, кетони, альдегіди, гетероциклічні сполуки [113].

Отже, цільнозернові продукти із борошна пшениці незрівнянно корисніші для здоров'я, аніж продукти із рафінованого білого борошна. Харчова (біологічна) цінність, а також смакові й сенсорні характеристики продуктів з цільнозернового борошна пшениці можуть бути істотно поліпшені шляхом лактоферментації. Ці продукти збагачують стіл споживача, поліпшуючи структуру харчової дієти і, головне, поліпшують фізичне й ментальне здоров'я населення. Також досить важливим є те, що ферментація цільнозернового борошна запускає механізм деградації/блокування токсичних і шкідливих субстанцій (антинутрієнти, грибні токсини, акриламід, пестициди, тощо), які можуть супроводжувати цільнозернове борошно [98].

Висновки і рекомендації. Підсумовуючи аналіз наукових досліджень, зроблений у цій статті, ми маємо обґрунтовані підстави зробити такі висновки.

1. Периферійні шари зерна (оболонка, зародок і алеїроновий шар), або технологічні висівки пшениці, містять левову частку компонентів біологічної цінності зерна, яка має стратегічне значення: а) у захисті організму людини від найтяжчих недугів, таких як рак,

серцево-судинні захворювання, цукровий діабет; б) у забезпеченні фізичного і ментального здоров'я організму людини, її повноцінного життя, активної працездатності й довголіття.

2. Спираючись на дані наукових досліджень харчової цінності зерна пшениці, можна зробити висновок, що серед способів використання для харчових цілей зерна пшениці, таких як а) цільнозернове борошно, б) біле борошно, фортифіковане вітамінами і мінералами, та в) біле рафіноване борошно, останній спосіб є найгіршим і не раціональним з огляду на вплив продукту переробки зерна на здоров'я людини. А біблейська фраза «хліб наш насущний» втратила свій глибинний сенс і символічність з тих пір як людство у своєму повсякденному харчуванні перейшло від жорнового (цільнозернового) борошна на масове споживання продуктів з білого рафінованого борошна.

3. Дослідження технологів пшениці в Україні донині зосереджені на вивченні технологічних і хлібопекарських характеристик білого борошна пшениці, а селекція пшениці — на створенні сортів з високими фізичною якістю клейковини і силою борошна. Дослідження ж технології і біологічної цінності цілого зерна, продуктів з цілого зерна, особливо харчової цінності висівок пшениці, в Україні майже не проводилися, на відміну від світової науки, де вивченню цілого зерна і висівок пшениці присвячені вже не одне десятиліття й сотні наукових, в т. ч. актуальних клінічних досліджень.

4. Глибокі наукові дослідження цілого зерна пшениці й висівок (де на відміну від ендосперму зосереджено неймовірно різноманіття важливих біологічно цінних компонентів) потребують значно ширшої і досконалішої інструментальної лабораторної бази, аніж та, що використовується нині для технологічних досліджень білого борошна. Отже, необхідно ставити питання про розгортання таких досліджень в Україні та забезпечення цих досліджень досконалою сучасною лабораторною базою на світовому рівні. Це вкрай важливо, адже йдеться про основний продукт харчування — хліб, та пов'язане з ним здоров'я української нації.

5. В українськомовній вікіпедії (<https://uk.wikipedia.org/wiki/Висівки>) значиться: «Висівки (в основному пшеничні та житні) — цінний корм для усіх видів сільськогосподарських тварин. Поживність висівок залежить від вмісту борошнистих частинок (чим менше борошна і більше оболонки, тим нижча поживність)». Висівки розглядаються практично як корм для тварин і, на жаль, незрівнянно менше як компонент важливої функціональної їжі для людини. Ми закликаємо українців від керівного рівня державою до рядового споживача змінювати пріоритети у напрямі підвищення популярності цільнозернових продуктів і продуктів з доданими висівками пшениці та висівками інших злакових культур.

6. Зважаючи на важливе значення цільнозернових продуктів для здоров'я населення України та беручи до уваги світові ініціативи таких всесвітньо відомих інституцій як WGI, EUFIC, WHO, та ін. стосовно біологічної цінності й користі для здоров'я цільнозернових продуктів, в Україні на державному рівні за участі фахівців нутриціо-

логів, працівників превентивної медицини, вчених, журналістів має бути розгорнута активна системна робота з висвітлення і популяризації для широких верств населення питань здорового харчування, пов'язаних із вживанням цільнозернових продуктів з пшениці та інших зернових злаків.

7. У практичній площині результати досліджень користі для організму людини продуктів із цільного зерна важливо доводити до виробників борошна, виробників хліба і борошняних продуктів з метою збільшення фіксованої частки цільнозернових продуктів, обов'язкової для виробництва і постачання на харчовий ринок України. Особливу увагу слід фокусувати на збільшенні асортименту продуктів з ферментованого цільнозернового борошна, як важливої технології біофортificaції харчової й споживчої якості цільнозернових продуктів.

8. Вважаємо важливим певну частину селекційної роботи наукових і селекційних установ України спрямувати на створення і вивчення сортів пшениці з кольоровим зерном, як важливий перспективний напрям сучасної селекції для істотного поліпшення харчової (біологічної) цінності зерна пшениці і продуктів його переробки.

REFERENCES

1. Burkitt, B.P. (1971). Epidemiology of cancer of the colon and rectum. *Cancer*, 28 (1), pp. 3-13. [https://doi.org/10.1002/1097-0142\(197107\)28:1<3::AID-CNCR2820280104>3.0.CO;2-N](https://doi.org/10.1002/1097-0142(197107)28:1<3::AID-CNCR2820280104>3.0.CO;2-N)
2. Onipe, O., Lideani, A. & Beswa, D. (2015). Composition and functionality of wheat bran and its application in some cereal food products. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 50, pp. 2509-2518. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12935>
3. Schroeder, H.A. (1971). Losses of vitamins and trace minerals resulting from processing and preservations of foods. *Am. J. Clin. Nutr.*, 24 (5), pp. 562-573. <https://doi.org/10.1093/ajcn/24.5.562>
4. Cardozo, R.V., Fernandes, A., Gonzalez-Paramas, A., Barros, L. & Ferreira, I.C. (2019). Flour fortification for nutrition and health improvement: A review. *Food Res. Int.*, 125, pp. 2-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108576>
5. WHO (2017). Nutrients. Retrieved February 27, 2019 from <https://www.who.int/elena/nutrient/en/>
6. Kaim, U. & Goluch, S. (2023). Health benefits of bread fortification: a systematic review of clinical trials according to the PRIZMA statement. *Nutrients*, 15, p. 4459. <https://doi.org/10.3390/nu15204459>
7. Fardet, A. (2010). New hypothesis for the health-protective mechanism of whole-grain cereals: what is beyond fibre? *Nutr. Res. Rev.*, 23 (1), pp. 65-134. <https://doi.org/10.1017/S0954422410000041>
8. Curti, E., Carini, E., Bonacini, G., Tribuzio, G. & Vittadini, E. (2013). Effect of the addition of bran fractions on bread properties. *J. Cer. Sci.*, 57 (3), pp. 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.12.003>
9. Prucker, M., Siebenhandl-Ehn, S., Apprich, S., Holtinger, S., Haas, C., Schmid, E. & Kneifel, W. (2014). Wheat bran-based biorefinery 1. Composition of wheat bran and strategies functionalization. *LWT-Food Sci. Technol.*, 56 (2), pp. 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.004>
10. Brier, N., Hemdane, S., Dornez, E., Gomand, S., Delcour, A. & Courtin, C. (2015). Structure, chemical composition and enzymatic activities of pearlings and bran obtained from pearled wheat (*Triticum aestivum* L.) by roller milling. *J. Cer. Sci.*, 62, pp. 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.009>

11. Andersson, A., Dimberg, L., Eman, P. & Landberg, L. (2014). Recent finding on certain bioactive components in whole grain wheat and rye. *J. Cer. Sci.*, 59 (3), pp. 294-311. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.003>
12. Brouns, F., Hemery, Y., Price, R. & Anson, N-M. (2012). Wheat aleurone: separation, composition, health aspects, and potential for use. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 52 (6), pp. 553-568. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.589540>
13. Almedia, E.L., Chang, Y.K. & Steel, C.J. (2013). Dietary fibre sources in bread: influence on technological quality. *Food Sci. Technol.*, 50 (2), pp. 545-553. <http://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.012>
14. Reddy, B., Hirose, Y., Cohen, L., Simi, B., Cooma, I. & Rao, C. (2000). Preventive potential of wheat bran fractions against experimental colon carcinogenesis: implications for human colon cancer prevention. *Cancer Res.*, 60 (17), pp. 4792-4797.
15. Javed, M., Zahoor, S., Shafaat, S., Mehmooda, I., Gul, A., Rasheed, H., Bukhari, S.A., Aftab, M. & Ikram-ul-Haq. (2012). Wheat bran is a brown gold: nutritious value and its biotechnological application. Review. *African J. Microbiol. Res.*, 6 (4), pp. 724-733. <https://doi.org/10.5897/AJMR11.035>
16. Babu, Ch.R., Ketanapalli, H., Beebi, Sh.Kh. & Kolluru, V.Ch. (2018). Wheat bran — composition and nutritional quality: a review. *Advances Biotechnol. Microbiol.*, 9 (1), pp. 21-27. <https://doi.org/10.19080/AIBM.2018.09.555754>
17. Kozubek, A. & Tyman, J. (1999). Resorcinolic lipids, the natural non-isoprenoid phenolic amphiphiles and their biological activity. *Chem. Rev.*, 99 (1), pp. 1-26. <https://doi.org/10.1021/cr970464o>
18. Esposito, F., Arlotti, G., Bonifati, A., Napolitano, A., Vitale, D. & Fogliano, V. (2005). Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Res. Int.*, 38 (10), pp. 1167-1173. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.05.002>
19. Maki, K., Gibson, G., Dickman, R., Kendall, C., Chen, O., Costabile, A., Comelli, E., McKay, D., Almeida, N., Jenkins, D., Zello, G. & Blumberg, G. (2012). Digestive and physiologic effects of wheat bran extract, arabino-xylan-oligosaccharide, in breakfast cereal. *Nutrition*. 28 (11-12), pp. 1115-1121. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2012.02.010>
20. Bernstein, A., Titgemeier, B., Kirkpatrick, K., Golubic, M. & Roizen, M. (2013). Major cereal grain fibres and psyllium in relation to cardiovascular health. *Nutrients*, 5 (5), pp. 1471-1487. <https://doi.org/10.3390/nu5051471>
21. Liyana-Pathirana, Ch. & Shahidi, F. (2007). The antioxidant potential of milling fractions from bread wheat and durum. *J. Cer. Sci.*, 45 (3), pp. 238-247. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2006.08.007>
22. Perez-Jimenez, J. (2005). Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. *J. Agric. Food Chem.*, 53 (12), pp. 5036-5040. <https://doi.org/10.1021/jf050049u>
23. Vaher, M. (2010). Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties. *Procedia Chem.*, 2 (1), pp. 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2009.12.013>
24. Zhou, K., Su, L. & Yu, L. (2004). Phytochemicals and antioxidant properties in wheat bran. *J. Agric. Food Chem.*, 52 (20), pp. 6108-6114. <https://doi.org/10.1021/jf049214g>
25. Ross, A., Kamal-Eldin, A. & Aman, P. (2004). Dietary alkylresorcinols: absorption, bioactivities, and possible use as biomarkers of whole-grain wheat- and rye-rich foods. *Nutr. Rev.*, 62 (3), pp. 81-95. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2004.tb00029.x>
26. Wang, J., Sun, B., Cao, Y. & Tian, Y. (2009). Protection of wheat bran feruloyl oligosaccharides against free radical-induced oxidative damage in normal human erythrocytes. *Food Chem. Toxicol.*, 47 (7), pp. 1591-1599. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.04.006>
27. Vitaglione, P., Napolitano, A. & Fogliano, V. (2008). Cereal dietary fibre: a natural functional ingredient to deliver phenolic compounds into the guts. *Trends in Food Sci. Technol.*, 19 (9), pp. 451-463. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.02.005>
28. Anson, N., Havenaar, R. & Bast, A. (2009). Bioavailability of ferulic acid is determined by its inaccessibility. *J. Cer. Sci.*, 49(2), pp. 296-300. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.12.001>
29. Liu, R.H. (2007). Whole grain phytochemical and health. *J. Cer. Sci.*, 46 (3), pp. 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.010>

30. Sara-Calixto, F. (2011). Dietary fibre as a carrier of dietary antioxidants: an essential physiological function. *J. Agric. Food Chem.*, 59 (1), pp. 43-49. <https://doi.org/10.1021/jf1036596>
31. Metayer, S., Seiliez, I., Collin, A., Duchkne, S., Mercier, Y., Geraet, P-A. & Tesseraud, S. (2008). Mechanism of through which sulfur amino acids control protein metabolism and oxidative status. *J. Nutr. Biochem.*, 19 (4), pp. 207-215. <https://doi.org/10.1016/j.jnutrbio.2007.05.006>
32. Qu, H., Madi, R., Takemoto, D. & Baybutt, R. (2005). Lignans are involved in the anti-tumor activity of wheat bran in colon cancer SW480 cells. *J. Nutr.*, 135 (3), pp. 598-602. <https://doi.org/10.1093/jn/135.3.598>
33. Stevenson, L., Phillips, F., O'Sullivan, K. & Walton, J. (2012). Wheat bran: its composition and benefits to health, a European perspective. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 63 (8), pp. 1001-1013. <https://doi.org/10.3109/09637486.2012.687366>
34. Cheryan, M. (1980). Phytic acid interactions in food systems. *Agric. Sci.*, 13 (4), pp. 296-335.
35. Bilgili, N. & Ibanoglu, Ю. (2007). Effect of wheat germ and wheat bran on the fermentation activity, phytic acid content and colour of tarhana, a wheat flour-yoghurt mixture. *J. Food Engineer.*, 78(1), pp. 681-686. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.11.012>
36. Sandberg, A-S., Brune, M., Carlsson, N-G. & Halberg, L. (1999). Inositol phosphates with different numbers of phosphate groups influence iron absorption in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 70 (2), pp. 240-246. <https://doi.org/10.1093/ajcn.70.2.240>
37. Weaver, C., Heaney, R., Teegarden, D. & Hinders, S. (1996). Wheat bran abolishes the inverse relationship between calcium load size and absorption fraction in women. *J. Nutr.*, 126 (1), pp. 303-307. <https://doi.org/10.1093/jn/126.1.303>
38. Chen, Z., Stini, W., Marshall, J., Martinez, M., Guillen-Rodriguez, J., Roe, D. & Alberts, D. (2004). Wheat bran fiber supplementation and bone loss among older people. *Nutrition*, 20 (9), pp. 747-751. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2004.05.015>
39. Hunt, J., Bieseigel, M. & Johnson, L. (2008). Adaptation in human zinc absorption as influenced by dietary zinc and bioavailability. *Am. J. Clin. Nutr.*, 87(5), pp. 1336—1345. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1336>
40. Gibson, R., Perlas, L., & Hotz, Ch, (2006). Improving bioavailability of nutrients in plant foods at the household level. *Proc. Nutr. Soc.*, 65 (2), pp. 160-168. <https://doi.org/10.1079/PNS2006489>
41. Hallberg, L., Rossander, L. & Skanberg, A. (1987). Phytates and the inhibitory effect of bran on iron absorption in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, 45 (5), pp. 988-996. <https://doi.org/10.1093/ajcn/45.5.988>
42. Dintzis, F., Watson, P. & Sandstead, H. (1985). Mineral contents of bran passed through the human GI tract. *Am. J. Clin. Nutr.*, 41 (5), pp. 901-908. <https://doi.org/10.1093/ajcn/41.5.901>
43. Agte, V., Tarwadi, K. & Chiplonkar, S. (1999). Phytate degradation during traditional cooking: significance of the phytic acid profile in cereal-based vegetarian meals. *J. Food. Compos. Anal.*, 12 (3), pp. 161-167. <https://doi.org/10.1006/jfca.1999.0826>
44. Gibson, R. (1994). Content and bioavailability of trace elements in vegetarian diets. *Am. J. Clin. Nutr.*, 59 (5), pp. 1223-1232. <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.5.1223>
45. Vitali, D., Dragojević, I. & Sebečić, B. (2008). Bioaccessibility of Ca, Mg, Mn and Cu from wholegrain tea biscuits: impact of proteins, phytic acid and polyphenols. *Food Chem.*, 110 (1), pp. 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.01.056>
46. Garcia-Casal, M. (2006). Carotenoids increase iron absorption from cereal-based food in the human. *Nutr. Res.*, 26 (7), pp. 340-344. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2006.06.015>
47. Watzke, H. (1998). Impact of processing on bioavailability examples of minerals in food. *Trends Food Sci. Technol.*, 9 (8), pp. 320-327. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(98\)00060-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(98)00060-0)
48. Minihane, A. & Rimbach, G. (2002). Iron absorption and the iron binding and antioxidant properties of phytic acid. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 37, pp. 741-748. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2002.00619.x>
49. Bingham, S., Day, N. & Luben, R. (2003). Dietary fibre in food and protection against colorectal cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition

- (EPIC): an observational study. *Lancet*, 361 (9368), pp. 1496-1501. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(03\)13174-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(03)13174-1)
50. De Cosse, J., Miller, H. & Lesser, M. (1989). Effect of wheat fibre and vitamins C and E on rectal polyps in patients with familial adenomatous polyposis. *J. Natl. Cancer Inst.*, 81 (17), pp. 1290-1297. <https://doi.org/10.1093/jnci/81.17.1290>
51. Alberts, D., Ritenbaugh, C. & Story, J. (1996). Randomised double blinded placebo controlled study of the effect of wheat bran fibre and calcium on faecal bile acids in patients with respected adenomatous colon polyps. *J. Natl. Cancer Inst.*, 88 (2), pp. 81-92. <https://doi.org/10.1093/jnci/88.2.81>
52. MacLennan, R., Macrae, F. & Bain, C. (1995). Randomized trial of intake of fat, fibre and betacarotene to prevent colorectal adenomas: the Australian Polyp Prevention Project. *J. Natl. Cancer Inst.*, 87 (23), pp. 1760-1766. <https://doi.org/10.1093/jnci/87.23.1760>
53. Lupton, J. & Turner, N. (1999). Potential protective mechanisms of wheat bran fibre. *Am. J. Med.*, 106 (1A), pp. 24-27. [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(98\)00343-X](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(98)00343-X)
54. Lupton, J. & Meacher, M. (1988). Radiographic analysis of the effect of dietary fibers on rat transit time. *Am. J. Physiol-Legacy Cont.*, 255 (5Pt1), pp. 633-639. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.1988.255.5.G633>
55. Schley, P. & Field, C. (2002). Immune-enhancing effects of dietary fibres and prebiotics. *British J. Nutr.*, 2 (S2), pp. 221-230. <https://doi.org/10.1079/BJNBJN/2002541>
56. Zoran, D., Turner, D. & Taddeo, S. (1997). Wheat bran diet reduced tumor incidence in a rat model of colon cancer independent of effects on distal luminal butyric acid concentrations. *J. Nutr.*, 127(11), pp. 2217-2225. <https://doi.org/10.1093/jn/127.11.2217>
57. Alberts, D., Einspahr, J., Rees-McGee, S., Ramanujam, P., Buller, M. & Clark, L. (1990). Effects of dietary wheat bran fiber on rectal epithelial cell proliferation in patients with resection for colorectal cancers. *J. Natl. Cancer Inst.*, 82 (15), pp. 1280-1285. <https://doi.org/10.1093/jnci/82.15.1280>
58. Huang, C., Ma, W., Hecht, S. & Dong, Z. (1997). Inositol hexaphosphate inhibits cell transformation and activator protein 1 activation by targeting phosphatidylinositol-3 kinase. *Cancer Res.*, 57 (14), pp. 2873-2878.
59. Waliszewski, P., Blaszczyk, M. & Wolinska-Witort, E. (1997). Molecular study of sex steroid receptor gene expression in human colon and in colorectal carcinomas. *J. Oncol.*, 64 (1), pp. 3-11. [https://doi.org/10.1002/sici/1096-9098\(199701\)64:1<3::aid-jso2>3.0.co;2-g](https://doi.org/10.1002/sici/1096-9098(199701)64:1<3::aid-jso2>3.0.co;2-g)
60. Zhao, Y., Shi, L., Hu, Ch. & Sang, Sh. (2019). Wheat bran for colon cancer prevention: the synergy between phytochemical alkylresorcinol C21 and intestinal microbial metabolite butyrate. *J. Agric. Food Chem.*, 67 (46), pp. 12761-12769. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b05666>
61. Stoll, D.A. (1996). Can supplementary dietary fiber suppress breast cancer growth? *Br. J. Cancer*, 73 (5), pp. 557-559. <https://doi.org/10.1038/bjc.1996.97>
62. Belobrajdic, D. & Bird, A. (2013) The potential role of phytochemicals in whole grain cereals for the prevention of type-2 diabetes. *Nutr. J.*, 12, pp. 62-73. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-12-62>
63. Wang, Y. (2009). Prebiotics: present and future in food science and technology. *Food Res. Int.*, 42 (1), pp. 8-12. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.09.001>
64. Jensen, M., Koh-Banerjee, P., Hu, F., Franz, M., Sampson, L., Gronbaek, M. & Rimm, E. (2004). Intake of whole grains, bran and germ and the risk of coronary heart disease in man. *Am. J. Clin. Nutr.*, 80 (6), pp. 1492-1499. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.6.1492>
65. Costabile, A., Klinder, A., Fava, F., Napolitano, A., Fogliano, V. & Leonard, C. (2008). Wholegrain wheat breakfast cereal has a prebiotic effect on the human gut microbiota. *Br. J. Nutr.*, 99 (1), pp. 110-120. <https://doi.org/10.1017/S0007114507793923>
66. Zhu, R., Xu, H., Cai, H., Wang, S., Mao, J., Zhang, J., Xiong, X., Wang, X., Zhou, W. & Guo, L. (2023). Effects of cereal bran consumption on cardiometabolic risk factors: A systematic review and meta-analysis. *Nutr., Metabolism and Cardiovascular Disease.*, 33 (10), pp. 1849-1865. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2023.04.020>
67. Barrett, E., Batterham, M., Ray, S. & Beck, E. (2019). Whole grain, bran and cereal fibre consumption and CVD: a systematic review. *British J. Nutr.*, 121, pp. 914-937. <https://doi.org/10.1017/S000711451900031X>

68. Smuda, S., Mohsen, S., Olsen, K. & Aly, M. (2018). Bioactive compounds and antioxidant activities of some cereal milling byproducts. *J. Food Sci. Technol.*, 55 (3), pp. 1134-1142. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-3029-2>
69. Chakraborty, M. & Budhwar, S. (2019). Critical analysis of wheat bran as therapeutic source. *Int. J. Trend Sci. Res. Develop.*, 3, pp. 296-303. <https://doi.org/10.31142/ijt-srd21755>
70. Budhwar, S., Chakraborty M., Sethi, K. & Chatterjee, A. (2020). Antidiabetic properties of rice and wheat bran — a review. *J. Food Biochem.*, 00, e13424. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13424>
71. McIntyre, A., Vincent, A., Perkins, R. & Spiller, R. (1997). Effect of bran, ispaghula, and inert plastic particles on gastric emptying and small bowel transit in humans: the role of physical McIntyre factors. *Gut*, 40, pp. 223-227. <https://doi.org/10.1136/gut.40.2.223>
72. Monro, J. (2002). New approaches to providing nutrition information. In: Henry CKJ, Chapman C, editors. *The nutrition handbook for food processors*. Boca Raton, NC: CRC Press., pp. 165-192.
73. Topping, D. (2007). Cereal complex carbohydrates and their contribution to human health. *J. Cer. Sci.*, 46 (3), pp. 220-229. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.004>
74. Chen, H., Haack, V., Janecky, C., Vollendorf, N. & Marlett, J. (1998). Mechanisms by which wheat bran and oat bran increase stool weight in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 68 (3), pp. 711-719. <https://doi.org/10.1093/ajcn/68.3.711>
75. Cummings, J. (1993). The effect of dietary fiber on fecal weight and composition. In: Spiller GA, editor. *Dietary fibre in human nutrition*. Boca Raton, FL: CRC Press, pp. 263-350.
76. Payler, D., Pomare, E., Heaton, K. & Harvey, R. (1975). The effect of wheat bran on intestinal transit. *Gut*, 16 (3), pp. 209-213. <https://doi.org/10.1136/gut.16.3.209>
77. Gibson, G. & Roberfroid, M. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J. Nutr.*, 125 (6), pp. 1401-1412. <https://doi.org/10.1093/jn/125.6.1401>
78. Freeland, K., Anderson, G. & Wolever, T. (2009). Acute effects of dietary fibre and glycaemic carbohydrate on appetite and food intake in healthy males. *Appetite.*, 52(1), pp. 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2008.08.001>
79. Astrup, A., Kristensen, N., Gregersen, A., Belza, A., Lorenzen, J., Due, A. & Larsen, T. (2010). Can bioactive foods affect obesity. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1190 (1), pp. 25-41. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05272.x>
80. Mucoz-Esparza, N., Costa-Catala, J., Comas-Baste, O., Toro-Funes, N., Latorre-Moratalla, L., Veciana-Nogues, T. & Vidal-Carou, C. (2021). Occurrence of polyamines in foods and the influence of cooking processes. *Foods*, 10, pp. 1-13. <https://doi.org/10.3390/foods10081752>
81. Kalač, P. (2014). Health effects and occurrence of dietary polyamines: A review for the period 2005—mid 2013. *Food Chem.*, 161, pp. 27-39. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.03.102>
82. Handa, A., Fatima, T. & Mattoo, A. (2018). Polyamines: Bio-Molecules with diverse functions in plant and human health and disease. *Front. Chem.*, 6, pp. 1-18. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00010>
83. Madeo, F., Eisenberg, T., Pietrocola, F. & Kroemer, G. (2018). Spermidine in health and disease. *Sci.*, 359 (6374), ean 2788.
84. Gugliucci, A. & Menini, T. (2003). The polyamines spermine and spermidine protect proteins from structural and functional damage by AGE precursors: A new role for old molecules? *Life Sci.*, 72 (23), pp. 2603-2616. [https://doi.org/10.1016/S0024-3205\(03\)00166-8](https://doi.org/10.1016/S0024-3205(03)00166-8)
85. Soda, K. (2020). Spermine and gene methylation: A mechanism of lifespan extension induced by polyamine-rich diet. *Amino Acids*, 52, pp. 213-224. <https://doi.org/10.1007/s00726-019-02733-2>
86. Kiechl, S., Pechlaner, R., Willeit, P., Notdurfter, M., Paulweber, B., Willeit, K., Werner, P., Ruckstuhl, C., Iglseder, B. & Weger, S. (2018). Higher spermidine intake is linked to lower mortality: A prospective population-based study. *Am. J. Clin. Nutr.*, 108, pp. 371-380. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy102.#>
87. Garg, M., Kaur, S., Sharma, A., Kumari, A., Tiwari, V., Sharma, S., Kapoor, P., Sheoran, B., Goyal, A. & Krishania, M. (2022). Rising demand for healthy foods-antho-

- cyanin biofortified coloured wheat is a new research trend. *Front. Nutr.*, 9, pp. 1-23. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.878221>
88. Zeven, A.C. (1991). Wheats with purple and blue grains: a review. *Euphytica*, 56, pp. 243-258. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00042371>
89. Rybalka, O., Morgun, V. & Morgun, B. (2020). Colored grain of wheat and barley — a new breeding strategy of crops with grain of high nutritional value. *Fiziol. rast. genet.*, 52, pp. 95-127. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.095>
90. 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>
91. Cerletti, C., De Curtis, A., Bracone, F., Digesù, 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>
92. Alvarez-Suarez, J., Giampieri, F., Tulipani, S., Casoli, T. & Di Stefano, G. (2014). One-month strawberry-rich anthocyanin supplementation ameliorates cardiovascular risk, oxidative stress markers and platelet activation in humans. *J. Nutr. Biochem.*, 25, pp. 289-294. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2013.11.002>
93. Li, D., Zhang, Y., Liu, Y., Sun, R. & Xia, M. (2015). Purified anthocyanin supplementation reduces dyslipidemia, enhances antioxidant capacity, and prevents insulin resistance in diabetic patients. *J. Nutr.*, 145, pp. 742-748. <https://doi.org/10.3945/jn.114.205674>
94. Knievel, D., Abdel-Aal, E., 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. Cer. Sci.*, 50, pp. 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.03.007>
95. Martinek, P., Jirsa, O., Vaculova, K., Chrpová, J., Watanabe, N., Burešová, 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>
96. 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* × *T. monococcum* RIL population. *Theor. Appl. Genet.*, 115, pp. 301-312. <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0543-z>
97. Gobetti, M. & Ganzle, M. (2012). *Handbook on sourdough biotechnology*. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-23084-4>
98. Sen Ma, Zhen Wang, Xingfeng Guo, Fengcheng Wang, Jihong Huang, Binghua Sun & Xiaoxi, Wang. (2021). Sourdough improves the quality of whole-wheat flour products: Mechanisms and challenges—A review. *Food Chem.*, 360, pp. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130038>
99. Corsetti, A., Settanni, L., Van Sinderen, D., Felis, G., Dellaglio, F. & Gobetti, M. (2005). *Lactobacillus rossii* sp. nov., isolated from wheat sourdough. *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, 55 (1), pp. 35-40. <https://doi.org/10.1099/ijs.0.63075-0>
100. Rizzello, C., Nionelli, L., Coda, R., De Angelis, M. & Gobetti, M. (2010). Effect of sourdough fermentation on stabilisation, and chemical and nutritional characteristics of wheat germ. *Food Chem.*, 119 (3), pp. 1079-1089. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.08.016>
101. Ma, F., Lee, Y. & Baik, B.-K. (2018). Bran characteristics influencing quality attributes of whole wheat Chinese steamed bread. *J. Cer. Sci.*, 79, pp. 431-439. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.12.005>
102. Lancetti, R., Sciarini, L., Pérez, G. & Salvucci, E. (2021). Technological performance and selection of lactic acid bacteria isolated from argentinian grains as starters for wheat sourdough. *Current Microbiol.*, 78, pp. 255-264. <https://doi.org/10.1007/s00284-020-02250-6>
103. Nutter, J., Saiz, A. & Iurlina, M. (2019). Microstructural and conformational changes of gluten proteins in wheat-rye sourdough. *J. Cer. Sci.*, 87, pp. 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.03.006>
104. Sun, L., Li, X., Zhang, Y., Yang, W., Ma, G., Ma, N. & Pei, F. (2020). A novel lactic acid bacterium for improving the quality and shelf life of whole wheat bread. *Food Control*, 109, 106914. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106914>

105. Oshiro, M., Zendo, T. & Nakayama, J. (2021). Diversity and dynamics of sourdough lactic acid bacteria created by a slow food fermentation system. *J. Biosci. Bioengineer.*, 131 (4), pp. 333-340. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2020.11.007>
106. Arora, K., Ameer, H., Polo, A., Di Cagno, R., Rizzello, C. & Gobbetti, M. (2021). Thirty years of knowledge on sourdough fermentation: A systematic review. *Trends Food Sci. Technol.*, 108, pp. 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.12.008>
107. Montemurro, M., Pontonio, E., Gobbetti, M. & Rizzello, C. (2019). Investigation of the nutritional, functional and technological effects of the sourdough fermentation of sprouted flours. *Int. J. Food Microbiol.*, 302, pp. 47-58. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.005>
108. Zadeike, D., Vaitkeviciene, R., Bartkevics, V., Bogdanova, E., Bartkiene, E., Lele, V. & Valatkeviciene, Z. (2020). The expedient application of microbial fermentation after whole-wheat milling and fractionation to mitigate mycotoxins in wheat-based products. *LWT*, 110440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110440>
109. Esfahani, B., Kadivar, M., Shahedi, M. & Soleimani-Zad, S. (2017). Reduction of acrylamide in whole-wheat bread by combining lactobacilli and yeast fermentation. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 34 (11), pp. 1904-1914. <https://doi.org/10.1080/19440049.2017.1378444>
110. Lund, M. & Ray, C. (2017). Control of Maillard reactions in food: strategies and chemical mechanisms. *J. Agric. Food Chem.*, 65, pp. 4537-4552. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00882>
111. Gobbetti, M., De Angelis, M., Di Cagno, R., Calasso, M., Archetti, G. & Rizzello, C. (2019). Novel insights on the functional/nutritional features of the sourdough fermentation. *Int. J. Food Microbiol.*, 302, pp. 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.05.018>
112. Pontonio, E., Dingio, C., Di Cagno, R., Blandino, M., Gobbetti, M. & Rizzello, C. (2020). Brans from hull-less barley, emmer and pigmented wheat varieties: From byproducts to bread nutritional improvers using selected lactic acid bacteria and xylanase. *Int. J. Food Microbiol.*, 313, 108384. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.108384>
113. Ripari, V., Bai, Y. & Gänzle, M. (2019). Metabolism of phenolic acids in whole wheat and rye malt sourdoughs. *Food Microbiol.*, 77, pp. 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.08.009>

Received 25.03.2024

WHOLEMEAL PRODUCTS — THE WORLD'S HEALTH STRATEGY

O.I. Rybalka^{1,2}, V.V. Morgun², S.S. Polyshchuk¹, M.V. Chervonys¹, B.V. Morgun^{2,3}, V.M. Sokolov¹

¹Plant Breeding and Genetics Institute — National Center of Seed and Cultivars Investigation, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine
3 Ovidiopolska Rd., 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 Zabolotnoho St., Kyiv, 03143, Ukraine
e-mail: molgen@icbge.org.ua

The data of wheat bran compounds composition, bran biochemistry, bran properties as well as physiological effects on the human's organism some of the individual bran compounds and their synergy in terms of positive influence on the human health are reviewed. Overwhelming majority of valuable for human health compounds of wheat grain accumulated in the outer grain layers such as bran, aleurone layer and germ. They are all presenting together the milling fraction of technological bran, that are screened out separately while grain processing, and used as feed for animal. Refined white flour with bran removed loses from 50 % to 90 % valuable for health vitamins, minerals and bioactive compounds there-

by needed to be artificially fortified by vitamin and mineral additives. Reasonable alternative to refined white flour is a wholemeal flour with no bran separation that keeps untouchable all of the valuable grain nutrients. Numerous scientific and clinical research of the whole wheat grain and wheat bran compounds have evidenced their positive effect on human health, and argued the necessity potentially to get rid of the white flour wheat products and considerably enhancing preferable consumption of the wholemeal products in the worldwide population diet. In 2017 in Vienna the 6-th International Wholemeal Summit has accepted the special Whole Grain Initiative (WGI) coordinated by International Association for Cereal Science and Technology (ICC). Within the body of WGI the array of international programs aimed on the wholemeal wheat and other cereal products popularisation were approved. The review gives comprehensive characteristics of the wheat bran composition including important for health ingredients such as insoluble and soluble fibre, polyphenol acids, vitamins and minerals, bioactive peptides, powerful antioxidants protecting human organism against such kind of destructive pathologies like cancer, cardiovascular diseases, diabetes mellitus etc. The review describes a new prospective trend in the modern world breeding aimed at improvement of the wheat bran and wheat grain nutritional status by development of coloured wheat cultivars with blue, purple and black grain. The grain colour caused by flavonoid pigments anthocyanins widely presented in coloured fruits and berries such as blueberry, bilberry, strawberry, and possessing a very high antioxidant activity comparable with the strongest antioxidants. Considerable attention focused also on the wholemeal flour fermented products. Lactobacillus fermentation drastically ameliorates the nutritional value of the wholemeal flour and flour-derived food products due to activation of enzymatic reactions resulting in biosynthesis of new bioactive compounds as well as neutralising of the antinutritional and toxic exogenous contaminants. The review contains the author's recommendations for the new scientific and technological research of the wholemeal flour and flour-based products in Ukraine, development of the new wheat cultivars possessing the functional food status, enforcement of the healthy wholemeal food production as well as active popularization of the wholemeal products in the populations, enhancement of the wholemeal products consumption in the human's healthy nutrition.

Key words: wheat, wholemeal products, bran, coloured grain, healthy nutrition.

ORCID

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

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

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>

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

В.М. СОКОЛОВ — V.M. Sokolov <https://orcid.org/0000-0002-8334-409X>