

УДК 633.11:664.7

DOI: 10.15673/swonaft.v89i2.3409

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА БОРОШНА З ПРОСА

В.І. Чеглатонєв, аспірант

Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна

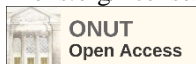
ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9983-4855>

E-mail: vovacheg81@gmail.com

Copyright © 2025 by author and the journal «Scientific Works»

This work is licensed under Vthe Creative Commons Attribution International License (CC By).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



Анотація. Стаття присвячена комплексному аналізу сучасного стану та технологічних особливостей виробництва борошна з проса посівного як окремого напрямку круп'яної переробки. Охарактеризовано сучасні обсяги вирощування проса посівного у світі та регіональні відмінності у структурі його харчового використання. Показано, що у світовому масштабі борошно з проса займає близько 20–25 % від обсягу зерна, що спрямовується на харчову переробку, при цьому частка суттєво варіює залежно від країни, харчових традицій і рівня розвитку переробної промисловості. Проведено комплексний аналіз сучасного стану використання проса як зернової круп'яної культури з урахуванням вимог до якості зерна, особливостей його переробки та технологічних рішень, що застосовуються на етапах підготовки і переробки. Проаналізовано показники якості зерна відповідно до вимог ДСТУ 5026:2008, а саме вологість, вміст ядра, крупність, рівень зернової та смітної домішки, наявність ушкоджених, пророслих і забарвлених зерен, а також зараженість шкідниками. Показано, що сукупність цих показників безпосередньо впливає на вихід придатного до переробки ядра, стабільність технологічного процесу та якість готових круп'яних продуктів. Розглянуто сортовий склад проса, допущений до використання в Україні. Аналіз сортів проведено з урахуванням їх круп'яної спрямованості, рівня плівчастості, вирівняності зерна та потенційного виходу ядра. Визначено, що більшість сучасних сортів орієнтовані саме на харчове використання, а їх селекційні ознаки спрямовані на зменшення частки оболонки, підвищення стабільності якості зерна та поліпшення показників шліфованого ядра. Проаналізовано валові обсяги виробництва проса в Україні. Зазначено загальний рівень виробництва зерна та регіональні відмінності між областями. У статті проаналізовано структуру переробки проса в Україні з розподілом за основними видами круп'яної продукції. Наведено орієнтовні обсяги виробництва шліфованої крупи, плющених продуктів, круп'яного борошна та продуктів швидкого приготування. Показано, що переважаючим напрямом залишається виробництво шліфованої крупи, частка якої становить переважну більшість переробленого зерна, тоді як інші продукти мають обмежене поширення.

Обґрунтуванню технологічну схему переробки проса в борошно, адаптовану до анатомічних і фізико-механічних особливостей цієї культури. Детально розглянуто роль пропарювання зерна перед луценням як ключового етапу, що забезпечує зміну механічних властивостей оболонки, зниження крихкості плівок, підвищення міцності ядра та покращення умов їх розділення. Показано ефективність застосування луцильно-шліфувальних машин типу «Каскад» для поєднання операцій луцення і шліфування з мінімальними втратами ядра, а також значення фотосепарування для формування однорідної за якістю сировини, придатної до подальшого здрібнювання. Обґрунтовано вибір режимів здрібнювання у спеціалізованих дробарках і вальцових верстатах, які забезпечують стабільний гранулометричний склад борошна та знижену зольність. Запропонований підхід до переробки проса в борошно дозволяє скоротити кількість технологічних етапів, зменшити енерговитрати, підвищити вихід готового продукту та забезпечити стабільну якість борошна, придатного для використання у виробництві каш, сухих сумішей і спеціалізованих харчових продуктів.

Ключові слова: просо посівне, борошно з проса, круп'яна промисловість, хімічний склад, пропарювання зерна, луцення і шліфування.

Перші сліди використання проса належать до неоліту, приблизно 10-8 тисяч років до нашої ери, коли люди почали переходити від мисливсько-збиральницького способу життя до осілого землеробства. Первісні форми проса були поширені в різних частинах Євразії, зокрема в Малій Азії, на території

сучасного Китаю та Індії. Саме тут люди почали відбирати насіння найбільш крупне і поживне, що стало першим кроком до культурного вирощування. В античному світі просо було менш поширене, ніж пшениця та ячмінь, але все ж залишалося важливим харчовим ресурсом для бідних верств населення та в регіонах з посушливим кліматом. У Давньому Римі і Греції просо використовували для приготування каш, а також як корм для худоби. Воно цінувалося за швидке дозрівання, що дозволяло отримати врожай у місцях із коротким літом. Середньовічна Європа бачила відродження інтересу до проса, особливо в Східній Європі, де кліматичні умови обмежували вирощування пшениці. На Русі з XI-XII століття просо стало основною зерною культурою, його молоти на крупу для каш, а також на борошно для прісного хліба. Цінувалося воно і як поживний корм для худоби, що робило його універсальною культурою для аграрного господарства того часу. З XV століття почалося активне поширення проса на території Північної та Центральної Європи. Селяни високо цінували цю культуру через її невибагливість, а також здатність давати стабільні врожаї навіть у роки посухи чи нестачі добрив. У XX-XXI століттях просо стало об'єктом наукових досліджень у сфері селекції та генетики, що дозволило вивести сорти з підвищеною стійкістю до хвороб, кращою врожайністю та високим вмістом білка [1-4].

Сучасний світовий валовий збір зерна проса посівного становить близько 4,5-5,5 млн т на рік, що відповідає приблизно 15-18 % від загального виробництва всіх форм просяних культур у світі. Найбільшим виробником проса посівного у світі є Китай де щорічний обсяг виробництва оцінюється на рівні 1,6-1,8 млн т. Частка Китаю у світовому виробництві проса посівного становить близько 30-35 %, що робить його ключовим виробником на світовому рівні. Значне місце у структурі світового виробництва проса посівного посідає Індія, хоча для цієї країни більш характерне вирощування інших видів проса. Обсяг виробництва саме проса посівного в Індії оцінюється приблизно у 400-600 тис. т на рік. Частка Індії у світовому виробництві проса посівного становить близько 8-10 %. Важливим регіоном вирощування проса посівного є країни Центральної та Східної Азії поза межами Китаю. У Казахстані, Монголії та окремих районах Узбекистану й Киргизстану сумарний річний обсяг виробництва цієї культури оцінюється в межах 200-300 тис. т. Частка цього регіону у світовому виробництві проса посівного становить близько 5 %. У Північній Америці основним виробником проса посівного є Сполучені Штати Америки. Річний валовий збір зерна цієї культури в США становить 100-150 тис. т. Частка США у світовому виробництві проса посівного не перевищує 3 %. У Південній Америці вирощування проса посівного має обмежений, характер. Найбільшим виробником у регіоні є Аргентина, де щорічний обсяг виробництва оцінюється приблизно у 150-200 тис. т. Частка Аргентини у світовому виробництві проса посівного становить близько 3-4 %. У країнах Європейського Союзу просо посівне вирощується в порівняно невеликих обсягах. Основні посіви зосереджені в Румунії, Болгарії, Угорщині, Франції та окремих регіонах Італії. Сукупний річний обсяг виробництва в межах ЄС оцінюється приблизно у 80-120 тис. т. Частка Європейського Союзу у світовому виробництві проса посівного не перевищує 2 %. Окремі обсяги проса посівного вирощуються також у країнах Близького Сходу та Північної Африки, де сумарне виробництво становить близько 100-150 тис. т на рік [5-8].

Просо посівне переважно використовується як сировина для виробництва круп'яних продуктів, причому структура переробки та об'єми переробки істотно відрізняються залежно від харчових традицій, рівня розвитку країн та орієнтації ринку. У країнах, де вирощування цієї культури має найбільше значення, сформувалися відносно стабільні напрями переробки саме в круп'яні продукти, до яких належать шліфувана крупа, плющені продукти, круп'яне борошно, продукти швидкого приготування, зернові сніданки та зернові батончики. В Китаї просо посівне традиційно переробляється насамперед у шліфовану крупу. Із загального обсягу виробництва зерна близько 65-70 % спрямовується на харчову переробку. Це становить приблизно 1,1-1,2 млн т зерна. Із цієї кількості близько 700-800 тис. т припадає на виробництво шліфованої крупи, яка використовується для традиційних каш і кулінарних виробів. Плющені продукти займають меншу, але стабільну частку, на рівні 120-150 тис. т на рік, що пов'язано з виробництвом швидкокорозварюваних каш. Круп'яне борошно з проса в Китаї виробляється в обсязі близько 80-100 тис. т на рік і використовується для традиційних борошняних виробів та сумішей. Продукти швидкого приготування на основі проса посівного становлять близько 60-80 тис. т, тоді як зернові сніданки й зернові батончики мають менший обсяг на рівні 30-40 тис. т і 15-20 тис. т на рік. В Індії структура використання проса посівного відрізняється більшою орієнтацією на мінімально оброблені круп'яні продукти. Близько 60 % від загального обсягу вирощеного зерна спрямовується на харчову переробку, що становить приблизно 250-350 тис. т. Основним продуктом є шліфована крупа, обсяг виробництва якої оцінюється в межах 180-220 тис. т на рік. Плющені продукти з проса займають близько 30-40 тис. т і використовуються для традиційних швидкокорозварюваних страв. Круп'яне борошно виробляється в обсязі 25-35 тис. т, переважно для регіональних продуктів. Крупи швидкого приготування складають на рівні 15-20 тис. т, тоді як зернові сніданки й батончики залишаються нішевіми, з сумарним обсягом не більше 10-15 тис. т на рік. В країнах Центральної Азії, зокрема в Казахстані та Монголії, просо посівне використовується

переважно для виробництва традиційної шліфованої крупи. Частка харчової переробки становить приблизно 50-55 % від загального обсягу вирощеного зерна, що складає 110-160 тис. т зерна. Із цієї кількості шліфована крупа займає 80-110 тис. т. Плющені продукти виробляються в обсязі 10-15 тис. т, переважно для внутрішнього споживання. Круп'яне борошно становить близько 8-12 тис. т. Продукти швидкого приготування та зернові сніданки разом не перевищують 5-7 тис. т, а виробництво зернових батончиків має епізодичний характер і оцінюється на рівні 1-2 тис. т на рік. В Сполучених Штатах Америки просо посівне значною мірою орієнтоване на переробку в круп'яні продукти, близько 40 % використовується для харчових цілей. Це становить приблизно 40-60 тис. т зерна. Шліфована крупа займає близько 15-20 тис. т, тоді як плющені продукти виробляються в обсязі 8-12 тис. т. Круп'яне борошно з проса має стабільний сегмент на рівні 10-15 тис. т. Важливу роль відіграють продукти швидкого приготування, обсяг яких оцінюється у 8-10 тис. т. Зернові сніданки становлять близько 6-8 тис. т, а зернові батончики з використанням проса посівного виробляються в обсязі 4-6 тис. т на рік. В Аргентині просо посівне переробляється переважно на шліфовану крупу та плющені продукти. Харчова переробка охоплює близько 45-50 %, від загального об'єму вирощеного зерна, що складає 70-100 тис. т. Шліфована крупа становить приблизно 50-65 тис. т. Плющені продукти виробляються в обсязі 10-15 тис. т, круп'яне борошно складає 8-10 тис. т. Продукти швидкого приготування, зернові сніданки та батончики разом не перевищують 5-8 тис. т на рік. В країнах Європейського Союзу, де обсяги вирощування проса посівного є відносно невеликими, близько 60 % спрямовується на харчову переробку. Шліфована крупа становить 35-45 тис. т, плющені продукти виробляються в обсязі 10-12 тис. т, круп'яне борошно займає 8-10 тис. т. Крупи швидкого приготування оцінюються на рівні 6-8 тис. т, зернові сніданки – 5-7 тис. т, а зернові батончики – 3-5 тис. т на рік. У світовому масштабі з проса посівного щорічно виробляється близько 2,5-3,0 млн т круп'яних продуктів. Основну частку займає шліфована крупа, на яку припадає приблизно 1,8-2,0 млн т, тоді як плющені продукти становлять близько 300-350 тис. т, круп'яне борошно 200-250 тис. т, продукти швидкого приготування 150-180 тис. т, зернові сніданки 100-120 тис. т, а зернові батончики до 60-70 тис. т [6,7,9-13].

Просо посівне характеризується значною різноманітністю морфологічних форм, серед яких одним із найважливіших диференціувальних ознак є колір зернівки. Саме забарвлення оболонки зерна історично використовувалося для поділу проса посівного на типи, що мають різне харчове, технологічне та круп'яне призначення. Колір зерна формується внаслідок поєднання генетично зумовлених пігментів плодових і насінних оболонки та товщини алейронового шару, що безпосередньо впливає на вихід і якість круп'яних продуктів. Найпоширенішим і технологічно найбільш значущим є жовтозерний тип проса посівного. Зерно цього типу має забарвлення від світло-жовтого до насичено-золотистого, що зумовлено наявністю каротиноїдних пігментів у зовнішніх шарах зернівки. Саме жовтозерне просо становить основну частку світового виробництва проса посівного і в більшості країн використовується як базова сировина для виробництва шліфованої крупи. Частка жовтозерних форм у загальному валовому зборі проса посівного оцінюється на рівні 60-70 %. У технологічному відношенні цей тип характеризується відносно тонкими оболонками, високим виходом ядра після луцення та стабільними органолептичними властивостями крупи. Шліфована крупа з жовтозерного проса має характерний світло-жовтий колір, рівномірну структуру та мінімальний вміст оболонкових часток, що зумовлює її перевагу у виробництві як традиційних, так і швидкозварюваних круп'яних продуктів. Другим за поширенням є білозерний тип проса посівного, зерно якого має кремове або майже біле забарвлення. Частка білозерних форм у світовому виробництві оцінюється приблизно у 15-20 %. Цей тип вирізняється мінімальним вмістом пігментів у плодових оболонках і характеризується дуже світлим кольором шліфованої крупи. Саме білозерне просо вважається найбільш придатним для виробництва круп'яного борошна, плющених продуктів і зернових сніданків, оскільки забезпечує нейтральний колір і смак готової продукції. У технологічному сенсі оболонки білозерного проса можуть бути дещо щільнішими, ніж у жовтозерних форм, що іноді знижує вихід ядра, проте висока білизна крупи компенсує ці особливості з точки зору споживчих властивостей. В країнах із розвинутою структурою переробки проса частка білозерного проса може сягати 25-30 %. Червонозерний тип проса посівного характеризується забарвленням зерна від світло-червоного до темно-коричневого з червоним відтінком, що обумовлено наявністю фенольних сполук і антоціаноподібних пігментів у плодових оболонках. Частка цього типу у світовому виробництві є порівняно невеликою і зазвичай не перевищує 7-10 %. Червонозерне просо традиційно використовується обмежено, оскільки товсті оболонки та інтенсивне забарвлення знижують вихід і товарний вигляд шліфованої крупи. Разом із тим у деяких регіонах цей тип зберігає значення для виробництва плющених продуктів і спеціалізованих круп, де допускається темніший колір сировини. Після шліфування крупа з червонозерного проса має світло-кремовий або сіруватий відтінок, що обмежує її використання в масовому сегменті, але знаходить застосування в нішевих продуктах. Окрему групу становлять коричневозерні та темнозабарвлені форми проса посівного, частка яких у світовому виробництві зазвичай не перевищує 3-5 %. Зерно цього типу має

інтенсивне темне забарвлення, пов'язане з високим вмістом пігментів у оболонках. Такі форми характеризуються зниженим виходом шліфованої крупи та підвищеним вмістом оболонкових фракцій у готовому продукті. В круп'яному виробництві вони використовуються переважно для виготовлення круп'яного борошна грубого помелу або як компонент зернових сумішей, де колір не є критичним показником якості. Для круп'яної промисловості найбільш цінними вважаються жовтозерні та білозерні типи проса посівного, на які в сукупності припадає до 85 % зерна, що спрямовується на виробництво шліфованої крупи, плющених продуктів, круп'яного борошна, продуктів швидкого приготування та зернових сніданків [14-16].

Просо посівне, характеризується відносно стабільним, але водночас перемінним хімічним складом, який формується під впливом генотипу, кольорового типу зерна, ґрунтово-кліматичних умов і ступеня стиглості. Саме сукупність хімічних компонентів визначає його харчову цінність і технологічну придатність для виробництва різних круп'яних продуктів. В середньому зерно проса посівного містить 9,5-14,0 % білка, 60-69 % вуглеводів, 3,0-4,5 % жиру, 7-12 % харчових волокон і 1,5-2,5 % мінеральних речовин. Білкові речовини проса посівного займають особливе місце в його хімічному складі. Масова частка білка зазвичай коливається в межах 10,5-13,5 %, хоча в окремих сортах може досягати 14 %. Основну частку білкових фракцій становлять проламіни та глютеліни, тоді як альбуміни й глобуліни представлені в менших кількостях. Амінокислотний склад характеризується відносно високим вмістом лейцину, ізолейцину та валіну, тоді як лізин є лімітуючою амінокислотою, його частка зазвичай становить 2,0-2,5 % від загального вмісту білка. Метіонін і цистин містяться в кількостях 1,5-2,0 %, що є порівняно високим показником для злакових культур і підвищує біологічну цінність білків проса. Вуглеводний комплекс проса посівного представлений насамперед крохмалем, частка якого становить у середньому 55-63 % маси зерна. Крохмаль характеризується співвідношенням амілози й амілопектину на рівні 20-30 % і 70-80 % відповідно. Така структура зумовлює добру розварюваність і формування розсипчастої структури каші після обробки. Крохмальні зерна дрібні, переважно округлі або багатогранні, з середнім діаметром 3-7 мкм, що позитивно впливає на швидкість гідратації під час варіння та виробництва продуктів швидкого приготування. Частка простих цукрів у зерні незначна і зазвичай не перевищує 1,5-2,0 %, представлених головним чином глюкозою, фруктозою та сахарозою. Ліпідний комплекс є одним із найважливіших чинників його харчової цінності. Загальний вміст жиру коливається в межах 3,0-4,5 %, що є вищим показником порівняно з традиційними злаковими. Основна частка ліпідів локалізується в зародку та алейроновому шарі зернівки. Жирнокислотний склад характеризується переважанням ненасичених жирних кислот, частка яких становить 70-75 % від загальної кількості. Основною жирною кислотою є лінолева, її вміст зазвичай перебуває в межах 45-55 %, олеїнова кислота становить 20-25 %, тоді як пальмітинова й стеаринова кислоти разом формують близько 20-25 %. Такий склад зумовлює високу харчову цінність, але водночас підвищену чутливість продуктів із проса до окисного псування при тривалому зберіганні. Харчові волокна в зерні проса посівного представлені як нерозчинними, так і розчинними фракціями. Загальний вміст клітковини коливається від 7 до 12 %, причому основна її частка зосереджена в оболонках зерна. Нерозчинні волокна представлені целюлозою та геміцелюлозами. У шліфованій крупі вміст харчових волокон знижується до 2,0-3,5 %, тоді як у круп'яному борошні грубого помелу може зберігатися на рівні 6-8 %. Мінеральні речовини проса посівного представлені вмістом золи на рівні 1,7-2,3 %. Найбільш значущими макроелементами є фосфор, калій і магній, концентрація яких становить відповідно 250-350 мг, 180-220 мг і 100-130 мг на 100 г зерна. Кальцій міститься в менших кількостях, зазвичай 8-15 мг на 100 г. Серед мікроелементів особливе значення мають залізо, цинк і марганець. Вміст заліза коливається в межах 3,0-6,0 мг на 100 г, цинку 1,5-3,0 мг, марганцю 0,8-1,5 мг, що робить просо цінним джерелом мікроелементів у раціоні харчування. Вітамінний склад проса посівного характеризується переважанням водорозчинних вітамінів групи В. В зерні міститься тіамін у кількості 0,3-0,5 мг на 100 г, рибофлавін 0,1-0,2 мг, ніацин 4,0-6,0 мг. Також присутні піридоксин і фолієва кислота в менших концентраціях. Жиророзчинні вітаміни представлені переважно токоферолами, сумарний вміст яких становить 2,0-4,0 мг на 100 г зерна і корелює з кількістю ліпідів [17-20].

В Україні загальний валовий збір проса посівного складає приблизно 120-140 тисяч тонн на рік. Найбільші площі під просом зосереджені в Одеській області де його вирощують приблизно на 12-13 тисячах гектарів, що робить область лідером у країні за абсолютними показниками. Одеська область традиційно вирізняється помірно посушливим кліматом та придатними ґрунтовими умовами, які сприяють стабільному вирощуванню проса. Частка Одеської області в загальній площі під просом в Україні становить близько 12-13 %. Миколаївська область займає друге місце за концентрацією посівів. Тут просо вирощують на площі близько 9-11 тисяч гектарів, що становить приблизно 10 % від загальної площі в країні. Херсонська область також відзначається значними площами проса – близько 8-9,5 тисяч гектарів. Це приблизно 8-9 % від загальної площі в Україні. У центральній частині країни просо також має помітну присутність, хоча масштаби дещо менші, ніж на півдні. Кіровоградська область утримує площі під просом

на рівні 7-8,5 тисяч гектарів, що становить близько 7-8 % від загальноукраїнського показника. Черкаська область має 5,5-6,5 тисяч гектарів, або приблизно 5-6 % від загальної площі, Вінницька – 6-7 тисяч гектарів, тобто 6-7 %. Разом центральні області формують приблизно 18-21 % загальної площі під просом в Україні. Східні області, які не зазнали активних бойових дій і залишаються під контролем держави, мають менші площі вирощування проса. Дніпропетровська область утримує близько 4-5 тисяч гектарів, що становить 4-5 % від загальної площі. Запорізька область має 3,5-4,5 тисяч гектарів, або 3-4 %. Західні області України вирізняються ще меншими площами під просом. У Хмельницькій області культура займає 3-3,5 тисяч гектарів, або 3-4 % від загальноукраїнського обсягу. Тернопільська область має 2-2,5 тисяч гектарів, або близько 2-3 %, а Львівська – 1,5-2 тисячі гектарів, тобто 1,5-2 %. Сукупно західні області формують близько 6-8 % загальної площі під просом. Північні області України також мають обмежену присутність проса. Київська область утримує 2,5-3 тисячі гектарів, або близько 2-3 % від загального обсягу. Житомирська область – 2-2,5 тисяч гектарів, або 2-2,5 %. Чернігівська область має приблизно 1,5-2 тисячі гектарів, або 1,5-2 %. Північні регіони разом забезпечують близько 5-6 % загальної площі. В круп'яні продукти в Україні щорічно переробляється приблизно 70-85 % вирощеного проса посівного що складає до 85-110 тисяч тонн зерна. Більша частина зерна йде на виробництво шліфованої крупки – приблизно 50-55 % від загальної маси переробленого зерна, тобто близько 42-60 тисяч тонн. Площені продукти становлять близько 20-25 % переробленого обсягу, тобто приблизно 17-27 тисяч тонн. Крупа швидкого приготування займає 10-12 % обсягу, тобто близько 8-13 тисяч тонн зерна. Інші форми круп'яних продуктів, такі як зернові сніданки та зернові батончики, складають незначні обсяги – приблизно 5-7 % що складає 4-8 тисяч тонн зерна [21-25].

В Україні селекція проса посівного має тривалу історію. Найбільш відомим і провідним центром селекції проса є Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук. В цій установі селекційна робота з просом ведеться безперервно з другої половини ХХ століття. За цей час тут було створено значну кількість сортів. Помітний внесок у розвиток селекції проса зроблено в Полтавському регіоні, де сформувався окремий науковий осередок, орієнтований насамперед на підвищення круп'яної цінності зерна – Полтавська державна аграрна академія. Важливу роль у селекції проса відігравали також дослідні станції, серед яких особливе місце займає Веселоподільська дослідно-селекційна станція. Окрім провідних інститутів і станцій, до селекційного процесу залучалися й інші наукові установи аграрного профілю. Вони займалися сортовипробуванням, оцінюванням якості зерна, його адаптивності та стабільності показників у різних умовах вирощування. Найстарші сорти, зокрема Миронівське 51 (1978), Миронівське 94 (1976), Веселоподолянське 632 (1972), Харківське 57 (1987), Харківське 86 (1986), Харківське кормове (1980), Сонячне (1983), Сяйво (1994), формувалися в умовах орієнтації насамперед на стабільність урожаю та універсальність використання. Для цих сортів характерна маса 1000 зерен у межах 7,3-7,8 г, плівчастість на рівні 17-19 % та вміст ядра переважно 76-79 %. Вміст білка в зерні здебільшого коливався в межах 11,2-14,0 %, що відповідало тодішнім вимогам якості круп'яної сировини. Саме ці сорти заклали базові норми про прийнятні технологічні параметри проса для переробки. З 1990-х - в період 2000-х років в селекції простежується чіткий перехід до підвищення круп'яної ефективності. Такі сорти, як Київське 87 (1991), Київське 96 (1999), Веселоподільське 16 (2000), Золотисте (2003), Новокиївське 01 (2004), Омріяне (2005), Полтавське золотисте (2005), Таврійське (2006), Константинівське (2006), Денківське (2006), Золушка (2006), Лана (2006), демонструють стабільне зростання вмісту ядра до 78-83 %, а в окремих випадках зниження плівчастості до 12,9-16,2 %. Зерно цих сортів має більш інтенсивне жовте забарвлення, що є важливим показником товарної привабливості пшона. Маса 1000 зерен у більшості з них перевищує 7,5 г і часто сягає 8,3-8,9 г, що позитивно впливає на вихід ядра при луценні. Сорти середини 2000-х - початку 2010-х років, зокрема Аскольдо (2011), Біла альтанка (2012), Козацьке (2010), Поляно (2011), Ювілейне (2009), Вітрило (2008), Олітан (2008), відображають подальше вдосконалення селекційних ознак. Для них характерне поєднання високої маси 1000 зерен, яка в окремих сортів перевищує 8,0 г, з вмістом ядра 78-83 % та стабільним вмістом білка на рівні 12,5-14,8 %. Особливо показовим є сорт Козацьке, у якого вміст ядра становить 82,9 % за плівчастості 16,2 %, що свідчить про високий рівень технологічної придатності зерна. Найсучасніша група сортів, зареєстрованих після 2014 року, зокрема Заповітне (2014), Полто (2015), Чабанівське (2015), Скадо (2015), Сонечко слобідське (2016), Незалежне (2016), Богатирське (2017), Веселка (2018), Живинка (2019), Особливе (2019), Альтернативне (2019), Казкове джерело (2020), Дивовижне (2020), Ярдуш (2021), Кеша (2022), демонструють чітку орієнтацію на харчовий напрям використання. Для цих сортів типовими є підвищений вміст білка, який часто досягає 14,5-15,2 %, стабільний вміст ядра 78-82 % та плівчастість, в межах 16-18 %. Важливо, що селекція цього періоду спрямована не лише на максимізацію окремих показників, а на їх збалансованість, що забезпечує стабільну якість крупки при переробці. Особливої уваги заслуговує сорт Корнбергер Міттельфрюе, створений за участі австрійської селекції і зареєстрований у 2020 році. Він вирізняється найнижчою плівчастістю серед усіх сортів, яка складає 13,1-14,7 %, та високим

вмістом ядра 81-82,3 %, що підтверджує ефективність сучасних селекційних підходів, спрямованих на підвищення частки ядра [26-27].

ДСТУ 5026:2008 «Просо. Технічні умови» [28] є базовим нормативним документом в Україні, який регламентує вимоги до якості зерна проса посівного, що використовується як сировина для подальшої переробки, передусім у круп'яній промисловості. Показники якості зерна проса відповідно до вимог ДСТУ 5026:2008 дозволяють комплексно оцінити придатність сировини для продовольчого, насінневого та технологічного використання. Стандарт чітко диференціює зерно за чотирма класами, що відображає поступове зниження його технологічної та споживчої цінності зі зростанням допустимих відхилень за основними показниками. Вологість зерна для всіх класів нормується однаково і не повинна перевищувати 13,5 %. Така уніфікована вимога свідчить про ключове значення вологості як універсального критерію безпеки та збереженості зерна незалежно від його класу. Вміст вологи на цьому рівні забезпечує стабільний стан зернової маси під час зберігання, знижує ризик самозігрівання, розвитку мікрофлори та втрат якості. Вміст ядра є одним із ключових показників технологічної придатності зерна до лущення та шліфування. Для проса 1 класу він має становити не менше 76 %, для 2 класу – не менше 74 %, тоді як для 3 і 4 класів цей показник не нормується. Такий підхід чітко демонструє, що лише зерно перших двох класів розглядається як повноцінна сировина для виробництва шліфованої крупки з прогнозованим виходом. Зниження вмісту ядра прямо пов'язане з товщиною оболонки, часткою дрібного або пошкодженого зерна та загальною вирівняністю партії. Відсутність нормування для нижчих класів означає, що їх використання в круп'яному виробництві є технологічно ризикованим і може супроводжуватися значними втратами. Показник крупності додатково характеризує вирівняність зерна за розміром і масою. Для 1 класу встановлена вимога не менше 90 %, для 2 класу – не менше 80 %, тоді як для 3 і 4 класів крупність не нормується. Це свідчить про те, що саме для високоякісного проса критичною є однорідність зернової маси, яка забезпечує рівномірність лущення та стабільну якість крупки. Зниження крупності супроводжується зростанням частки битого зерна та нерівномірним відокремленням оболонки, що негативно впливає на вихід і товарний вигляд готової продукції. Зернова домішка є одним із найбільш диференційованих показників. Для 1 класу її вміст не повинен перевищувати 5,0 %, для 2 класу – 8,0 %, для 3 класу – 4,0 %, а для 4 класу допускається до 15,0 %. Така структура вказує на різне функціональне призначення зерна. Особливо показовим є те, що для 3 класу загальна зернова домішка нормується жорсткіше, ніж для 2 класу, що пов'язано з іншими пріоритетними показниками якості. У складі зернової домішки для 1 і 2 класів чітко нормуються обрушені, ушкоджені, пророслі та забарвлені зерна. Для 1 класу їх максимальні значення становлять відповідно 4,0 %, 1,0 %, 1,0 % і 2,0 %, тоді як для 2 класу ці показники зростають до 6,0 %, 2,0 %, 2,0 % і 3,0 %. Це відображає поступове зниження вимог до фізіологічного стану зерна та його зовнішнього вигляду. Для 3 класу ці компоненти допускаються в межах загальної зернової домішки без окремого нормування, а для 4 класу взагалі не нормуються, що свідчить про істотне обмеження його продовольчої цінності. Смітна домішка є ще одним критично важливим показником, який безпосередньо впливає на безпечність і технологічність зерна. Для 1 класу її вміст не повинен перевищувати 2,0 %, для 2 класу – 3,5 %, для 3 класу – 3,0 %, для 4 класу – 8,0 %. У межах смітної домішки жорстко регламентується вміст мінеральної домішки, який для всіх класів, окрім четвертого, не повинен перевищувати 0,2 %, тоді як для 4 класу допускається до 1,0 %. Це підкреслює небезпеку зносу обладнання та зниження якості крупки за наявності піску чи ґрунтових часток. Вміст зіпсованих зерен для 1 класу обмежений 0,5 %, для 2 класу – 1,5 %, тоді як для 3 класу він допускається в межах загальної смітної домішки. Наявність кукілью для 1 класу не дозволяється, для 2 класу допускається до 0,5 %, що відображає підвищені вимоги до безпеки зерна вищих класів. Вміст шкідливої домішки нормується однаково для всіх класів і не повинен перевищувати 0,2 %, що є принциповою вимогою незалежно від напрямку використання. Здатність до проростання нормується лише для 2 класу і повинна становити не менше 86 %. Це вказує на можливість використання зерна цього класу як насінневого або для цілей, де важливий фізіологічний стан зернівки. Відсутність нормування для інших класів свідчить про їх орієнтацію переважно на продовольче або технічне використання. Показник зараженості шкідниками є категоричним для всіх класів. Зараженість не дозволяється, за винятком ураження кліщем не вище I ступеня. Це відображає критичне значення фітосанітарного стану зерна як для безпеки зберігання, так і для якості кінцевої продукції.

Стан виробництва борошна з проса у світі на сьогодні перебуває у фазі стабільного, але нерівномірного розвитку, що зумовлено як традиційними напрямками використання цієї культури, так і сучасними змінами у структурі споживання зернових продуктів. На відміну від плющених виробів, борошно з проса є значно більш поширеним видом переробки, проте його частка в загальному обсязі використання проса суттєво різниться між регіонами. У світовому масштабі основна маса зерна проса переробляється у шліфовану крупку, тоді як борошно займає друге місце серед продуктів переробки. За узагальненими оцінками, частка борошна становить близько 20-25 % від усього обсягу проса, що

спрямовується на харчові цілі, проте в окремих країнах цей показник може бути значно вищим. Найбільші обсяги виробництва борошна з проса зосереджені в країнах Південної Азії, де воно є традиційною складовою раціону. В Індії борошно з різних видів проса, у тому числі проса посівного використовується для виготовлення коржів, млинців, каш та комбінованих борошнених сумішей. Частка проса, що переробляється саме в борошно, тут сягає 35-40 % від загального обсягу харчової переробки культури. Виробництво здійснюється як на великих млинах потужністю десятки тисяч тонн на рік, так і на численних малих підприємствах, орієнтованих на локальний ринок. У Китаї борошно з проса посідає важливе місце в сегменті функціональних та спеціалізованих продуктів харчування. Тут його використовують як сировину для сухих каш швидкого приготування, дитячого харчування та сумішей для лікувально-профілактичного харчування. Частка борошна в структурі переробки проса оцінюється на рівні 25-30 %, причому значна увага приділяється тонкому помелу та стабільності гранулометричного складу. Китайські підприємства активно застосовують комбіновані технології, що поєднують легку воднотеплову обробку з подальшим помелом, що покращує розчинність і кулінарні властивості продукту. В країнах Європи виробництво борошна з проса має нішевий характер, але демонструє стійке зростання. Основним чинником розвитку цього сегмента є попит на безглютенові та альтернативні зернові продукти. У Німеччині, Франції, Італії, Австрії та країнах Скандинавії борошно з проса випускається переважно на невеликих спеціалізованих млинах або в межах органічних переробних підприємств. Обсяги виробництва окремих підприємств зазвичай не перевищують 2-10 тис. т на рік. Технологічно використовується переважно помел шліфованого ядра, що дозволяє отримувати світле борошно з низькою зольністю та стабільними хлібопекарськими й кулінарними властивостями. В Північній Америці борошно з проса розвивається як складова ринку спеціалізованих борошнених сумішей. У США та Канаді його рідко використовують як окремий продукт, проте широко застосовують у складі композитних сумішей разом з пшеничним, кукурудзяним, рисовим або сорговим борошном. Загальний обсяг виробництва борошнених сумішей у регіоні перевищує 1 млн т на рік, з яких частка проса оцінюється в межах 5-7 %. Основними вимогами до борошна є дрібний помел, стабільна вологість і прогнозовані реологічні властивості, що забезпечує його використання в промисловій випічці та виробництві сухих сумішей. В Африці борошно з проса залишається основною формою його харчового використання. У країнах Західної та Східної Африки понад 50 % зерна проса переробляється саме на борошно, яке використовується для приготування традиційних страв. Переробка здебільшого здійснюється на дрібних млинах, часто без повного лушення зерна, що зумовлює підвищений вміст оболонкових частинок і високу зольність продукту. Разом з тим, у межах міжнародних програм розвитку харчових систем впроваджуються більш стандартизовані технології помелу, орієнтовані на покращення якості борошна та подовження терміну його зберігання. В Україні борошно з проса поки що не займає суттєвого місця в структурі переробки. Основна частина зерна спрямовується на виробництво шліфованої крупи, тоді як помел у борошно має обмежений, переважно експериментальний або нішевий характер. Виробництво борошна з проса здійснюється невеликими підприємствами або в межах універсальних млинів, що адаптують існуючі технологічні схеми. Попит на цей продукт формується насамперед у сегменті спеціалізованого харчування, але залишається нестабільним [29-31].

Суттєвим стримувальним чинником розвитку виробництва борошна з проса в Україні є відсутність чіткого нормативно-технологічного регламенту. Наразі немає регламенту, який би визначав вимоги до якості сировини, зольності, дисперсності помелу, вмісту білка та жиру, а також показників безпечності готового борошна. В результаті виробники змушені орієнтуватися на нормативи для інших безглютенових або традиційних зернових культур, що не завжди коректно з огляду на особливості хімічного складу і фізичних властивостей проса. Відсутність регламенту також ускладнює оцінювання технологічної придатності борошна з проса для різних напрямів використання, зокрема для випічки, приготування каш або сухих сумішей. Не визначені чіткі критерії тонкості помелу, водопоглинальної здатності, кулінарної консистенції та стабільності якості при зберіганні. Усе це стримує масштабування виробництва та знижує зацікавленість переробних підприємств у розвитку цього напрямку.

Метою даного дослідження є обґрунтування технології переробки проса в борошно. Об'єктом дослідження є просо вирощене в 2020-2022 роках на території України в Одеській, Миколаївській, Черкаській, Хмельницькій та Чернігівській області сортів Біла альтанка та Полтавське Золотисте.

Розробка ефективних технологічних рішень для переробки зерна проса в борошно є актуальною задачею сучасної зернопереробної галузі, з огляду на зростання інтересу до безглютенових і спеціалізованих харчових продуктів. Традиційні схеми переробки проса здебільшого орієнтовані на виробництво шліфованої крупи і не враховують специфіку формування борошна, що призводить до ускладнення технологічного процесу, підвищених втрат ядра та нестабільності якості готової продукції.

В ході проведення досліджень нами було розроблено технологічну схему переробки проса в борошно відповідно до якої очищене від домішок зерно з вологістю не більше 14 % спрямовується на етап

воднотеплової обробки який здійснюють за схемою гарячого кондиціонування. Пропарювання зерна проса перед лушенням є ключовим технологічним етапом саме для цієї культури, оскільки анатомічна будова проса, відносно висока плівчастість і специфічні фізико-механічні властивості зернівки суттєво відрізняють його від інших зернових і круп'яних культур. Просо характеризується наявністю щільно прилягаючих квіткових плівок, які міцно з'єднані з поверхнею ядра через алейроновий шар. Без проведення воднотеплової обробки квіткові мають підвищену крихкість і при механічному впливі під час лушення легко руйнуються, утворюючи дрібні фрагменти, що ускладнює їх відокремлення та призводить до потенційного погіршення якості продукції. Проведення пропарювання у пропарювачах періодичної дії при тиску пари 0,17-0,20 МПа протягом 7-10 хвилин забезпечує глибоке й рівномірне зволоження поверхневих шарів зернівки без надмірного зволоження ендосперму. За таких режимів пара проникає крізь мікропори та капіляри оболонки проса, викликаючи набухання клітинних стінок плівок і алейронового шару. В результаті плівки втрачають крихкість, стають більш еластичними і стійкими до подрібнення, що принципово змінює характер їх руйнування під час лушення. Замість дрібнодисперсних часток утворюються більші фрагменти оболонки, які легко видаляються на повітряних або ситових сепараторах. Для ядра проса пропарювання за вказаних режимів має переважно стабілізуючий ефект. Крохмальні зерна ендосперму частково гідратуються, однак не зазнають глибоких структурних перетворень, що могли б негативно вплинути на подальше подрібнення або кулінарні властивості продуктів. Білкові речовини переходять у більш щільний, коагульований стан, унаслідок чого ядро набуває підвищеної механічної міцності. Це знижує його схильність до розколювання і подрібнення при лушенні, що є характерною проблемою для непропареного проса. Важливою особливістю пропарювання проса є вплив на зону контакту між оболонками і ядром. Через різну швидкість набухання плівок і ендосперму в цій зоні виникають внутрішні напруження, які послаблюють адгезійні зв'язки. В результаті при механічному впливі в лушально-шліфувальних машинах оболонки відокремлюються від ядра більш повно і з меншими енергетичними витратами. Це дозволяє знизити інтенсивність лушення, скоротити кількість систем або пом'якшити режим лушення, що позитивно впливає на вихід готової продукції.

Для проса, яке призначене для подальшої переробки в крупу або борошно, пропарювання також має суттєве значення з точки зору якості готових продуктів. Завдяки стабілізації структури ядра зменшується кількість подрібнених частинок, що покращує гранулометричний склад крупи або якість борошна. Часткова інактивація ферментів, яка відбувається під час дії насиченої пари, знижує ризик небажаних змін під час зберігання продуктів, зокрема потемніння, розвитку сторонніх запахів і погіршення смакових властивостей. Короткочасна дія пари за підвищеного тиску зменшує кількість поверхневої мікрофлори, яка часто концентрується саме на оболонках проса. Це має особливе значення для зерна, що використовується у харчовому напрямі, оскільки підвищує безпечність сировини.

На наступному етапі пропарене зерно підсушують на вертикальних парових сушарках, наприклад «ВПС-О», (виробництва ТОВ «ОЛІС», м. Одеса) [32]. Зерно підсушують до вологості не більше 14 %. Після чого одним потоком просо спрямовують на лушення-шліфування. Для даного етапу використовують лушально-шліфувальні машини типу «Каскад» (виробництва ТОВ «ОЛІС», м. Одеса) [32] або їх аналогії, які працюють за тим же принципом дії. Перевага лушення проса на лушально-шліфувальних машинах типу «Каскад» виробництва ТОВ «ОЛІС» [32] полягає насамперед у тому, що конструкція і принцип дії цього обладнання добре узгоджуються з анатомічною будовою зерна проса та його фізико-механічними властивостями. Просо як культура характеризується високою плівчастістю, щільним приляганням квіткових плівок до ядра та підвищеною чутливістю ендосперму до механічних навантажень. Саме ці особливості зумовлюють потребу в такому типі лушення, який забезпечує достатній рівень руйнування оболонки, але водночас мінімізує пошкодження ядра. Машини типу «Каскад» реалізують принцип поетапного, м'якого механічного впливу на зерно, що є принципово важливим для проса. Лушення і шліфування в них відбувається за рахунок тертя зерна об абразивні поверхні та між собою в умовах контрольованого навантаження. На відміну від іншого технологічного обладнання лушально-шліфувальні машини, «Каскад» не створюють різких імпульсних навантажень, які для проса часто призводять до розколювання ядра і підвищеного виходу борошенця. В результаті зберігається цілісність ядра, що безпосередньо впливає на підвищення виходу крупи та стабільність її якості. Важливою перевагою є можливість поєднання операцій лушення і шліфування в межах однієї машини або послідовних систем. Для проса це має принципове значення, оскільки надмірна кількість проходів через різні машини підвищує механічне навантаження на зерно і збільшує втрати. У «Каскаді» інтенсивність впливу можна регулювати таким чином, щоб основна частина плівок видалялася вже на першій системі, а на наступній здійснювалося лише повторне лушення і вирівнювання поверхні ядра. Це дозволяє скоротити тривалість обробки та зменшити енергетичні витрати. За правильно підібраних режимів роботи машини типу «Каскад» забезпечують рівномірне лушення зерна з мінімальними коливаннями за партіями. Для проса, яке часто відрізняється за розміром зернівки і товщиною плівок навіть у межах однієї партії, це має велике значення.

Рівномірність обробки спрощує подальше сепарування продуктів лушення та підвищує ефективність роботи повітряних сепараторів.

Кількість систем на етапі лушення проса складає дві. Після кожної системи лушення-шліфування суміш продуктів для вилучення борошненця двократно провіюють у повітряних сепараторах із замкнутим циклом повітря. Після чого отримане ядро спрямовують на фотосепаратор, який забезпечує контроль якості шліфованого ядра, а також вилучення із суміші шліфованого ядра нелущених зерен, які повертають на першу луцильно-шліфовальну систему.

Застосування фотосепаратора на етапі контролю шліфованого ядра проса має принципове технологічне значення, оскільки саме на цій стадії формується остаточна якість напівфабрикату, який далі спрямовується на здрібнювання або використовується для подальшого виробництва круп'яних продуктів. Після лушення і шліфування суміш продуктів завжди залишається неоднорідною: поряд із повністю очищеним ядром присутні нелущене просо, а також ядра з поверхневими дефектами або залишки квіткових плівок. Традиційні способи сепарування не завжди дозволяють чітко відокремити ці фракції, оскільки їхні маса, розміри та аеродинамічні властивості часто є близькими. Фотосепаратор працює за принципом оптичного розпізнавання і реагує не на масу чи форму, а на зовнішній вигляд кожної окремої частинки. Для проса це особливо важливо, оскільки наявність квіткових плівок або їх фрагментів чітко проявляється у зміні кольору, блиску та структури поверхні зернівки. Шліфоване ядро має рівномірний жовтий або світло-жовтий колір, тоді як нелущене зерно відрізняється темнішим відтінком і неоднорідною поверхнею. Саме ці відмінності фотосепаратор фіксує з високою точністю та дозволяє відокремити небажані компоненти потоку. Важливою перевагою фотосепарування на цьому етапі є можливість повернення нелущених зерен на повторну обробку. Це забезпечує замкнений технологічний цикл, у якому зерно не втрачається, а якість продукту підвищується без збільшення загальних втрат. Нелущені зерна, вилучені фотосепаратором, спрямовують на першу луцильно-шліфовальну систему, де вони проходять повторну обробку в оптимальних умовах. Такий підхід дозволяє зменшити частку нелущеного зерна в основному потоці та стабілізувати показники якості шліфованого ядра. Ще однією суттєвою перевагою є зниження навантаження на наступні етапи переробки. Якщо в потік здрібнювання потрапляють нелущені зерна, це призводить до нерівномірного подрібнення, підвищеного зносу робочих органів обладнання та погіршення гранулометричного складу борошна. Завдяки фотосепаратору на здрібнювання надходить максимально вирівняне за якістю ядро, що позитивно впливає на стабільність технологічного процесу та характеристики готової продукції.

Отримане після обробки у фотосепараторі ядро проса спрямовують в спеціалізовану дробарку ДКМ (виробництва ТОВ «ОЛІС», м. Одеса) [32]. В дробарці встановлюють пробивне сито \varnothing 0,8-1,0 мм. Продукти здрібнювання спрямовують на подальше здрібнювання, яке здійснюється однією системою на вальцьовому верстаті. Здрібнювання здійснюють на вальцях з мікрошорсткою або гладкою поверхнею. Міжвальцьовий зазор регулюють в межах 0,2...0,4 мм. Борошно відбирається проходом металотканних сит № 056-080 при просіюванні продуктів здрібнювання. Борошно контролюють на вміст металомангнітних домішок, після чого його направляють на фасування або зберігання в бункери для готової продукції.

Запропонована технологічна схема характеризується скороченням кількості стадій в порівнянні з традиційними процесами переробки проса, що позитивно впливає на енергоємність і загальну ефективність виробництва. Поєднання операцій лушення і шліфування, застосування фотосепарування та раціонально організоване здрібнювання забезпечують підвищення якості готового борошна за рахунок зниження вмісту оболонкових часток і стабілізації гранулометричного складу. Отримане борошно відзначається покращеними органолептичними показниками, зниженою зольністю та підвищеною технологічною придатністю для використання у виробництві харчових продуктів різного призначення.

Список літератури

1. Lu, H., Zhang, J., Liu, K. B., Wu, N., Li, Y., Zhou, K., ... & Li, Q. (2009). Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10,000 years ago. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(18), 7367-7372.
2. Alonso, N., & Pérez-Jordà, G. (2023). The Origins of Millet Cultivation (*Panicum miliaceum* and *Setaria italica*) along Iberia's Mediterranean Area from the 13th to the 2nd Century BC. *Agronomy*, 13(2), 584.
3. Stevens, C. J., Shelach-Lavi, G., Zhang, H., Teng, M., & Fuller, D. Q. (2021). A model for the domestication of *Panicum miliaceum* (common, proso or broomcorn millet) in China. *Vegetation History and Archaeobotany*, 30(1), 21-33.
4. Hunt, H. V., Vander Linden, M., Liu, X., Motuzaitė-Matuzevičiūtė, G., Colledge, S., & Jones, M. K. (2008). Millets across Eurasia: chronology and context of early records of the genera *Panicum* and *Setaria* from archaeological sites in the Old World. *Vegetation history and archaeobotany*, 17(Suppl 1), 5-18.
5. Dwivedi, S. L., Ceccarelli, S., Blair, M. W., Upadhyaya, H. D., Are, A. K., & Ortiz, R. (2016). Landrace germplasm for improving yield and abiotic stress adaptation. *Trends in plant science*, 21(1), 31-42.

6. Habiyaemye, C., Matanguihan, J. B., D'Alpoim Guedes, J., Ganjyal, G. M., Whiteman, M. R., Kidwell, K. K., & Murphy, K. M. (2017). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) and its potential for cultivation in the Pacific Northwest, US: a review. *Frontiers in plant science*, 7, 1961.
7. Saleh, A. S., Zhang, Q., Chen, J., & Shen, Q. (2013). Millet grains: nutritional quality, processing, and potential health benefits. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 12(3), 281-295.
8. Taylor, J. R., & Emmambux, M. N. (2008). Gluten-free foods and beverages from millets. In *Gluten-free cereal products and beverages* (pp. 119-V). Academic Press.
9. Rajasekaran, R., Francis, N., Mani, V., & Ganesan, J. (2023). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.). In *Neglected and underutilized crops* (pp. 247-278). Academic Press.
10. Sheoran, B., Tiwari, V., Meenu, M., Babal, B., Chaudhary, E., Hetta, G., ... & Garg, M. (2024). Utilization of millet varieties in food and nutritional security. In *Sustainable utilization and conservation of plant genetic diversity* (pp. 199-256). Singapore: Springer Nature Singapore.
11. Jindal, P., & Nikhanj, P. (2023). A review on processing technologies for value added millet products. *Journal of Food Process Engineering*, 46(10), e14419.
12. Yousaf, L., Hou, D., Liaqat, H., & Shen, Q. (2021). Millet: A review of its nutritional and functional changes during processing. *Food Research International*, 142, 110197.
13. Bangar, S. P., Ashogbon, A. O., Dhull, S. B., Thirumdas, R., Kumar, M., Hasan, M., ... & Pathem, S. (2021). Proso-millet starch: Properties, functionality, and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 190, 960-968.
14. Kong, Y., Zhang, X., Li, H., Qiu, Y., Hou, H., Zhang, X., ... & Yang, Q. (2025). Phenotypic Variation of 933 Broomcorn Millet (*Panicum miliaceum* L.) Germplasm Resources. *Plants*, 14(16), 2536.
15. Narciso, J. O., & Nyström, L. (2023). The genetic diversity and nutritional quality of proso millet (*Panicum miliaceum*) and its Philippine ecotype, the ancient grain "kabog millet": a review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100499.
16. Boukail, S., Macharia, M., Miculan, M., Masoni, A., Calamai, A., Palchetti, E., & Dell'Acqua, M. (2021). Genome wide association study of agronomic and seed traits in a world collection of proso millet (*Panicum miliaceum* L.). *BMC Plant Biology*, 21(1), 330.
17. Wiedemair, V., Scholl-Buerger, S., Karall, D., & Huck, C. W. (2020). Amino Acid Profiles and Compositions of Different Cultivars of *Panicum miliaceum* L. *Chromatographia*, 83(7), 829-837.
18. McSweeney, M. B., Seetharaman, K., Dan Ramdath, D., & Duizer, L. M. (2017). Chemical and physical characteristics of proso millet (*Panicum miliaceum*)-based products. *Cereal Chemistry*, 94(2), 357-362.
19. ȚÎȚEI, V. (2024). THE AGROECONOMIC VALUE OF COMMON MILLET, *PANICUM MILIACEUM*, UNDER THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF MOLDOVA. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 24(4).
20. Górska, A., Głowacka, R., Mańko-Jurkowska, D., Wirkowska-Wojdyła, M., Bryś, J., & Ostrowska-Ligeża, E. (2019). Quality evaluation of lipid fraction of millet groats (*Panicum miliaceum* L.). *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, (596), 3-12.
21. Дребот, О., & Височанська, М. (2024). Щодо ефективності виробництва проса–нішевої сільськогосподарської культури. *Економіка та суспільство*, (67).
22. Рудік, О. Л., Рудік, Н. М., Сергєєв, Л. А., & Чугак, В. В. (2022). Просо посівне в системі адаптації аграрного виробництва до глобальних викликів сьогодення.
23. Нікітенко, М., & Аверчев, О. В. (2020). Вирощування проса в умовах Півдня України.
24. Аверчев, О. В., & Нікітенко, М. П. (2022). Місце проса в сівозміні. *Таврійський науковий вісник*, 3-9.
25. Аверчев, О. В., & Нікітенко, М. П. (2021). Аналіз виробництва проса в Україні. *Херсонський державний аграрно-економічний університет*.
26. Культура проса (особливості вирощування та зберігання) [Internet] Available from: <https://agrarii-razom.com.ua/culture/proso>
27. Derzhavnyi reistr sortiv roslyn, prydatnykh dla poshyrennia v Ukraini [Internet] Available from: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reyestr-sortiv-roslyn>
28. ДСТУ 5026:2008 «Просо. Технічні умови»
29. Xiao, J., Li, Y., Niu, L., Chen, R., Tang, J., Tong, Z., & Xiao, C. (2023). Effect of adding fermented proso millet bran dietary fiber on micro-structural, physicochemical, and digestive properties of gluten-free proso millet-based dough and cake. *Foods*, 12(15), 2964.
30. Kumari, S., Bhinder, S., Singh, B., & Kaur, A. (2023). Physicochemical properties, non-nutrients and phenolic composition of germinated freeze-dried flours of foxtail millet, proso millet and common buckwheat. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 105043.
31. Singh, A., Kundu, S., Malik, M., Dewan, A., & Reddu, A. (2025). Cooking Properties and Textural Dynamics of Proso Millet-Rice Flour Noodles: A Gluten-Free Approach. *Annals of Agri-Bio Research*, 30(2), 66-73.