

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА КРУПИ З ПРОСА

Соц С.М., канд. техн. наук, доцент, Кустов І.О., канд.техн.наук, доцент, Чеглатонєв В.І., аспірант
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса

Анотація. Просо є однією з найдавніших культур – археоботанічні дані свідчать, що його обробіток вівся в Китаї близько 8000 р. до н.е. Сьогодні ця зернова культура відіграє важливу роль у харчуванні населення аридных регіонів Азії й Африки, хоча в глобальній аграрній структурі має скоріше нішеве значення. Загалом світова площа посівів сягає 30–33 млн га, а річне виробництво – 28–32 млн т. Основні виробники – Індія (понад 10 млн т із понад 10 млн га), Нігер (3–4 млн т із понад 6 млн га), Китай (до 2 млн т із 1–1,5 млн га), а також Малі, Нігерія, Судан і інші країни. У 2023 р. ООН проголосила Міжнародний рік проса, що стимулювало дослідження та популяризацію культури у країнах із традиційно низьким рівнем його споживання.

Харчова цінність проса зумовлює його використання в безглютеновому харчуванні: зерно містить 10–12 % білка, 65–75 % крохмалю, 3–4 % жиру, 8–10 % клітковини, а також феноли, флавоноїди й токоферолі. Його білки представлені проламінами й глобулінами, багатими на лізин, але з нижчою біологічною цінністю порівняно з пшеницею чи кукурудзою. Крохмаль характеризується низькою температурою набухання, що покращує кулінарні властивості крупи.

Різнокольорові типи проса мають специфічні властивості: біле – легко шліфується, дає світлу крупу із високим вмістом крохмалю; кремове – із м'якою текстурою й виразними антиоксидантними властивостями; жовте – містить багато каротиноїдів, добре підходить для функціональних продуктів; червоне – з високим поліфенольним профілем; сіре – має найгрубішу оболонку, багате на мікроелементи і антиоксиданти, цінне у виробництві функціонального харчування.

В Україні, за даними FAO і Держстату, за останнє десятиліття площі під просом коливалися від 20 до 100 тис. га, а валовий урожай – від 50 до 250 тис. т. У 2022–2024 рр. площі скоротилися до 20–25 тис. га, а виробництво до 40–70 тис. т; у 2023 р. зібрано близько 58 тис. т із 21 тис. га. Просо становить менше 1 % внутрішнього ринку круп'яних продуктів.

ДСТУ 5026:2008 регламентує класифікацію й якість зерна проса: поділ за кольоровими групами (I тип – біле/кремове, II – жовте, III – червоно-коричневе) і призначенням (вищі класи – для крупи, нижчі – для солоду або кормових цілей). Встановлені нормативи до вологості ($\leq 13,5\%$), цілісності ядра ($\geq 76\text{--}80\%$), крупності, домішок тощо.

В Україні станом на липень 2025 р. у Реєстрі сортів рослин зареєстровано 37 сортів Rapiscum тїліасеїт, серед них найбільшпопулярні – Миронівське 51, Київське 87, Київське 96, а за останні п'ять років – дев'ять сучасних сортів (наприклад Дивовижене, Казкове джерело, Переможне, ПС Лілея тощо). Ці сорти забезпечують розширення сировинної бази круп'яної промисловості.

Класична технологія виробництва шліфованої крупи ґрунтує очищення, сортування, луцення (з одно- або двома деками), шліфування, сепарування, контроль якості та фасування. Вихід готового продукту становить близько 60 %, але процес є складним, вимагає значних площ для розміщення відповідного обладнання, при цьому вихід готової продукції не перевищує 65 %.

Розроблено і запропоновано оновлений технологічний процес який передбачає попередню воднотеплову обробку (пропарювання при 0,05–0,10 МПа протягом 5–7 хв, підсушування до $\leq 14\%$) перед об'єднаним луценням-шліфуванням на двох системах та застосуванням фотосепараторів і сучасних сушарок («Каскад», «ВПС-О»). Це дозволяє знизити крихкість ендосперму, підвищити вихід цілого ядра, мінімізувати втрати біологічно активних елементів. Фотосепаратори на основі ШІ забезпечують точний контроль зерна/ядра за кольором і внутрішніми дефектами, підвищуючи якість і товарність кінцевого продукту.

Ключові слова: круп'яне виробництво, просо, крупа шліфована, пропарювання, підвищення якості крупи, скорочення технологічного процесу.

Просо належить до злакових культур з найдавнішою історією вирощування: археоботанічні свідчення його обробітку вказують на Китай (близько 8000 років тому) як один із первинних центрів його походження. Сьогодні просо вирощують у багатьох регіонах Азії, Африки, Європи та Америки. У структурі світового землеробства просо має нішевий характер, проте відіграє критично важливу роль у харчуванні населення аридных регіонів [1].

Загальна площа посівів проса у світі, за даними FAO, коливається в межах 30–33 млн гектарів, а річне виробництво – близько 28–32 млн тонн. Найбільшими виробниками є Індія, Нігер, Китай, Малі, Нігерія та Судан. У цих країнах просо не лише важлива продовольча культура, але й складова агрокультурної ідентичності. Найбільше проса вирощується в тропічній та субтропічній Азії (переважно дрібнозернисте просо –

Panicum miliaceum, *Eleusine coracana*, *Setaria italica*) і в напівпустельній Африці (переважно перлове просо – *Pennisetum glaucum*, відоме як pearl millet). Індія – беззаперечний лідер за обсягом виробництва проса у світі. У середньому вона вирощує понад 10–11 млн тонн проса щороку на площах, що перевищують 10 млн гектарів. Африканські країни мають найвищу частку проса у раціонах харчування. Наприклад, Нігер щороку засіває понад 6 млн гектарів під просо, виробляючи близько 3–4 млн тонн зерна, залежно від погодних умов. Китай також є великим виробником проса, хоча площі значно поступаються Індії. Загальні площі сягають 1–1,5 млн гектарів, а виробництво – до 2 млн тонн [2].

У глобальному контексті спостерігається тенденція до зростання інтересу до проса через його харчову цінність і безглютеновий характер. У 2023 році ООН проголосила Міжнародний рік проса, що дало значний імпульс для досліджень і просування культури в країнах, де вона раніше мала другорядне значення. У продовольчому аспекті просо є основою раціону мільйонів людей в Азії та Африці, особливо в аридних регіонах, де інші зернові не забезпечують стабільного врожаю. Найчастіше зерно проса використовується у вигляді крупі після обрушення, що дозволяє видалити оболонки та зародок і отримати ядро з високим вмістом крохмалю, невеликою кількістю білка та мінімальним вмістом жиру. Каша з проса – одна з найстаріших страв у Європі та Азії. У Східній Європі найбільш поширеним є використання звичайного проса для виробництва шліфованої крупі. Залежно від ступеня обробки розрізняють шліфовану, поліровану і дроблену крупу. У Китаї та Кореї з проса готують каші, супи, напої і солодоші. У Африці зерно перлового проса перетирають і використовують для приготування традиційних коржів, каш і ферментованих страв [3].

Просо є одним з провідних злаків у дієтах для осіб з целиакією. Це зробило дану культуру популярною у функціональному харчуванні країн ЄС, США та Японії, де зерно проса використовується для виготовлення пластівців, каш швидкого приготування, екструдованих сніків, круп'яного борошна, хлібців і макаронів. У країнах із розвинутою органічною переробкою зростає попит на зерно проса для виготовлення молокозамінників, ферментованих напоїв та дитячого харчування.

У середньому просо містить 10–12 % білка, 65–75 % крохмалю, 3–4 % жиру, до 1,5 % золи, 8–10 % харчових волокон. Білковий склад представлений переважно проламінами і глобулінами з порівняно високим вмістом лізину. Водночас протеїни проса мають нижчу біологічну цінність, ніж у пшениці чи кукурудзи, через нестачу лізину і триптофану. Крохмаль має низьку температуру набухання, добре піддається термічній обробці, забезпечуючи гарну кулінарну якість каш і високий рівень засвоєння. Завдяки високому вмісту флавоноїдів, фенольних кислот і токоферолів просо розглядається як джерело антиоксидантів [4].

Кольорове різноманіття проса зумовлене як генетичними чинниками, так і умовами вирощування, сортовими особливостями та кількістю і типом фенольних сполук у оболонках й алеїроновому шарі зерна. Найпоширенішими за кольоровими ознаками є п'ять типів: біле просо, кремове (світло-жовте), жовте, червоне і сіре (іноді сіре з фіолетовим відтінком). Кожен з цих типів має різний ступінь поширення, придатність до переробки та поживну цінність [5–7].

Біле просо характеризується найнижчим вмістом пігментів у зерновій оболонці. Його зерно гладке, круглясте, з тонкою оболонкою і слабо вираженим кольоровим шаром. Завдяки цьому біле просо є найбільш придатним для виготовлення шліфованої крупі високої якості, що має світлий, привабливий вигляд після переробки. При шліфуванні з нього видаляється мінімальна частка ендосперму, що дозволяє отримати високий вихід цілого ядра. Біле просо є найменш гірким за смаком, має найнижчий вміст дубильних речовин і практично не містить водорозчинних фенольних сполук з групи флавоноїдів. Воно має високий вміст крохмалю (до 75 %) і помірний рівень білка (10–11 %), добре розварюється і використовується у виробництві каш, пластівців, дитячого харчування.

Кремове просо, або просо із зерном світло-жовтого відтінку, займає проміжне положення між білим і жовтим. Його зерно має м'який, золотисто-кремовий колір, що формується внаслідок наявності флавонів і незначної кількості каротиноїдних пігментів. Кремове просо характеризується добрим співвідношенням між технологічною придатністю і біологічною цінністю. Воно добре шліфується, дає середній або високий вихід крупі, має тонку оболонку і порівняно м'який ендосперм. Після термічної обробки утворює крупу з м'якою текстурою та приємним нейтральним смаком. За хімічним складом кремове просо подібне до білого, проте має дещо вищий вміст поліфенольних сполук, зокрема флавоноїдів, що забезпечують антиоксидантні властивості. У зернопереробній промисловості кремове просо є потенційною сировиною для пластівців, сухих сніданків і каш швидкого приготування.

Жовте просо – один з найпоширеніших типів, особливо у Східній Європі та Центральній Азії. Зерно жовтого проса має інтенсивне забарвлення завдяки наявності каротиноїдів, які надають зерну характерного золотистого або яскраво-жовтого відтінку. Ці пігменти мають не лише декоративну, але й функціональну цінність – антиоксидантну дію та провітамінну активність. Жовте просо часто має дещо щільніший ендосперм і твердішу структуру зерна, що ускладнює шліфування і знижує вихід цілого ядра але водночас підвищує термостійкість каші. Воно має дещо вищий вміст білка (до 12 %), помірну кількість жиру (до 4 %) і вищу біологічну цінність, ніж біле. Така крупа використовується для каш, пудингів, гарнірів, а також як сировина для функціональних продуктів харчування.

Червоне просо характеризується зерном з насиченим червоно-коричневим або бордовим відтінком, що пов'язано з підвищеним вмістом фенольних сполук у зерновій оболонці. Воно має найвищий вміст поліфе-

нолів серед усіх кольорових типів, що надає зерну яскравих антиоксидантних властивостей. Водночас зерно червоного проса має грубішу оболонку, нижчу шліфованість і менший вихід крупи. Ендосперм часто має щільну структуру, з високим вмістом амілопектину, що впливає на текстуру готової каші. Червоне просо частіше використовується у формі цілнзернової крупи або борошна. У ряді африканських країн червоне просо використовується для ферментації, виготовлення традиційних напоїв і страв.

Сіре просо – найменш пошене, має зерно з попелястим, сірим або сіро-фіолетовим відтінком. Сіре просо має найгрубішу оболонку, низьку шліфованість і потребує спеціальних режимів переробки. Його перевага полягає у високому вмісті харчових волокон, кремнію, магнію, а також у винятковій антиоксидантній активності. Через темний колір і характерні смакові властивості, воно рідко використовується у масовому продовольстві, однак є цінним у виробництві функціонального борошна, збагачених каш, сухих сумішей та продуктів із високою антирадикальною активністю.

Найкращі технологічні властивості має біле просо, зокрема сорти проса звичайного (*Panicum miliaceum*) з круглим, однорідним, світлим зерном.

За офіційними статистичними даними Державної служби статистики України та FAO, упродовж останніх десяти років площі під просом змінювались у межах від 20 до 100 тис. га, а валовий збір – від 50 до 250 тис. тонн на рік. У 2022–2024 роках через війну, скорочення площ у зоні бойових дій і зміну структури посівів в багатьох регіонах, площі проса зменшилися ще більше – орієнтовно до 20–25 тис. га, а валове виробництво впало до 40–70 тис. тонн на рік. У 2023 році, за оцінками Інституту зернових культур НААН, в Україні було зібрано близько 58 тис. тонн проса з площі приблизно 21 тис. га. У структурі внутрішнього споживання зернових культур просо займає незначне місце – менше 1 % від загальної кількості круп'яних продуктів, що споживаються в країні [8-10].

ДСТУ 5026:2008 «Просо. Технічні умови» є чинним національним стандартом України, який регламентує вимоги до зерна проса, призначеного для продовольчого, кормового, технічного використання та експорту. Стандарт установлює чітку систему класифікації зерна за кольором і призначенням. За кольоровими типами зерно поділяється на три основні групи: тип I – біле або кремове просо, тип II – зерно з жовтими відтінками, тип III – червоно-коричнєве. Така градація має як технологічне, так і товарне значення, оскільки колір зерна впливає на смакові властивості, вихід крупи та попит з боку споживачів. За призначенням зерно класифікується на чотири класи: перший і другий клас використовуються для виробництва крупи, третій – для виготовлення солоду, а четвертий – як сировина для комбікормової або технічної переробки [11].

Ключовими показниками якості, які регламентує стандарт, є вологість, вміст ядра, крупність, вміст зернової та сміттевої домішки. Максимально допустима вологість зерна не повинна перевищувати 13,5 % незалежно від класу. У зерні першого класу частка цілих зерен має становити не менше 76 %, крупність – не менше 90 %. Для другого класу відповідні значення становлять 74 % і 80 %. Для нижчих класів ці показники не нормуються, що відображає їх невисоку технологічну якість. Зміст зернової домішки обмежується 5 % для зерна першого класу, 8 % – для другого, і до 15 % – для четвертого класу. Сміттева домішка допускається в межах 2–8 %, причому вміст мінеральних і галькових частинок суворо обмежується – не більше 0,2 % і 0,1 % відповідно. Шкідливі домішки (зокрема, сажкові зерна, бур'яни з токсичними властивостями) мають бути не вище 0,2 % у всіх класах.

У Державному реєстрі сортів рослин, дозволених для поширення в Україні [12] станом на липень 2025 року, нараховується 37 сортів проса посівного звичайного (*Panicum miliaceum* L.), придатних для використання як сировина для виробництва круп.

В Україні найпоширенішим сортом проса вважається Миронівське 51, яке було внесено до Державного реєстру ще у 1978 році. У подальші роки до нього додалися сорти Київське 87 та Київське 96, зареєстровані відповідно у 1991 та 1999 роках. Упродовж перших двох десятиліть XXI століття реєстрація нових сортів відбувалася майже щороку, а найбільший приріст відзначено у 2006 році, коли до Реєстру [12] було внесено сорти Денівське, Золушка, Константинівське, Лана та Таврійське. Протягом останніх п'яти років з'явилося дев'ять нових сортів: Дивовижне, Казкове джерело та Корнбергер Міттelfрюе (2020), Ярдуш (2021), Кеша (2022), Переможне (2023), ПС Лілея, ПС Чиста криниця та Славетне (2024). Такі дані підтверджують, що селекційна робота не припиняється, і в Україні створюються сучасні перспективні сорти проса, здатні розширити сировинну базу для виробництва круп.

Найбільш поширеним харчовим продуктом, який отримують в Україні під час переробки зерна проса, є крупа поно шліфоване. Цей продукт належить до регламентованих відповідно до діючих нормативів і являє собою очищене від квіткових плівок і відшліфоване ядро зерна проса. Водночас, незважаючи на те, що технологія виробництва пшона шліфованого чітко визначена Правилами ведення та організації технологічного процесу на круп'яних заводах, ця крупа не користується широким споживчим попитом у порівнянні з іншими традиційними крупами. В свою чергу обмежена популярність пшона на внутрішньому ринку частково пояснює низький рівень інновацій у сфері створення нових харчових продуктів на основі проса. Це, своєю чергою, стримує активне впровадження нових технологій переробки проса в українській круп'яній промисловості та зменшує зацікавленість виробників у розширенні асортименту продуктів на його основі [13].

Технологічний процес виготовлення пшона шліфованого передбачає послідовне виконання операцій очищення зерна від домішок, його сортування за фракціями, лушення, сортування продуктів лушення, шліфування ядра, сортування після шліфування та контролю. Підготовлене зерно спершу надходить на сортування, яке здійснюють за допомогою ситоповітряних сепараторів і круп'яних розсійників типу А1-БРУ. Схема виробництва може передбачати переробку зерна одним потоком без поділу на фракції або двома потоками із фракціонуванням, при цьому зерно розділяють на крупну та дрібну фракції. Крупну отримують проходом через сито з отворами $\varnothing$ 3,0 мм та сходом із сит розміром 1,7×20 мм, дрібну – проходом через 1,7×20 мм і сходом 1,5×20 мм. Обидві фракції далі надходять на лушення. Ця операція виконується на вальцекових верстатах з одною або двома деками. Якщо використовуються верстати з одною декою, зерно пропускають через чотири послідовні лущильні системи, а при фракціонуванні – через три системи: перша працює окремо для кожної фракції, а друга й третя – сумісно. У разі використання дводекових верстатів передбачається послідовне лушення на двох системах. Продукти лушення після кожної системи піддаються сортуванню за допомогою повітряних сепараторів, завдання яких полягає у вилученні лузги, подрібнених частинок ядра та борошенця, оскільки їх присутність може значно знизити ефективність наступних операцій. Після першої лущильної системи продукт тричі пропускають через повітряні сепаратори, після другої, третьої й четвертої – двічі. У результаті цих операцій отримують ядро проса, де частка нелущених зерен не перевищує 1 %. Воно вважається напівфабрикатом, придатним до споживання. Для покращення зовнішнього вигляду, підвищення споживчих характеристик і тривалості зберігання проводиться шліфування, під час якого видаляють плодове й насіннєві оболонки та частково зародок. Шліфування здійснюють на одній системі з використанням машин А1-ЗШН і гвинтопресових шліфувальних установок У1-БШП. Продукти шліфування двічі сепарують у повітряних сепараторах, вилучаючи борошенце, дрібні частинки ядра та залишки оболонок. Ціле шліфоване ядро направляють у круп'яний розсійник для контролю: на ситах $\varnothing$ 2,3–2,5 мм або 1,8–1,9×20 мм видаляють великі домішки, а проходом сит $\varnothing$ 1,6–1,7 мм – залишки борошенця та подрібнених частинок. Сходом із сит $\varnothing$ 1,6–1,7 мм отримують готову крупу пшона шліфовану, яку додатково двічі пропускають через повітряні сепаратори перед фасуванням. Вихід готової продукції по базису за такою схемою становить близько 65 %. [14].

Серед недоліків виробництва пшона шліфованого варто відзначити значну протяжність і складність технологічного процесу, що зумовлено необхідністю використання чотирьох лущильних систем у разі застосування верстатів з одною декою або двох систем при роботі з дводековими верстатами. Додаткову складність становить сортування продуктів лушення, яке здійснюється із залученням до дев'яти повітряних сепараторів, а також контроль ядра за допомогою круп'яних розсійників і повітряних сепараторів. Це потребує значних виробничих площ для розміщення відповідного обладнання, що створює труднощі під час впровадження процесу на підприємствах із невеликою продуктивністю. Аналіз класичної технології свідчить, що головними її обмеженнями є вузький асортимент продукції та порівняно низький вихід готової крупи, який становить близько 65 %, тоді як після лушення відсоток вилученої лузги досягає 15,5 %, а решта втрат формується через надмірне утворення подрібнених частинок ядра і борошенця під час лушення.

Підвищення виходу крупи пшона в Україні можливе лише за умови комплексного технічного та технологічного оновлення на всіх етапах переробки. Найважливішим фактором є ефективне лушення зерна, оскільки саме під час цього процесу втрачається найбільша частка ядра через його крихкість і зрощення з оболонками. Вирішальне значення має застосування сучасних лущильних машин з абразивно-фрикційним принципом дії, які забезпечують зняття оболонок із мінімальним пошкодженням ядра. Українські підприємства досі часто використовують морально застарілі установки, при використанні яких утворюється достатньо велика кількість подрібненого ядра що в свою чергу призводить до зниження виходу крупи менше 55 %.

Важливим технічним рішенням є кондиціонування зерна перед обробкою. Традиційні технології переробки проса в Україні тривалий час не включали воднотеплову обробку через відсутність технічних можливостей ефективно контролювати якість зерна на вході. Просо – культура дрібна, неоднорідна за кольором і структурою, і звичайні сортувальні та очистні машини не давали змоги виділити зіпсовані, недозрілі чи уражені зерна. Через це включення воднотеплової обробки без належного попереднього відбору могло призводити до погіршення якості і навіть збільшення втрат. Але у світі даний технологічний етап для підвищення ефективності виробництва на відміну від вітчизняної галузі застосовується. Відомий спосіб підготовки зерна проса до лушення який передбачає попереднє очищення зерна, замочування у воді температурою 20–70 °C протягом 2–16 годин, пропарювання при тиску не більше 0,5 МПа упродовж від 2 до 20 хвилин, підсушування до вологості 8–16 %, лушення. Вихід цілого ядра проса при здійсненні обробки за такою структурою зростає приблизно в 1,5 раза. Застосування воднотеплової обробки для проса в Україні – це перспективний напрям модернізації просопереробної галузі, який дозволяє знизити технологічні втрати, підвищити рентабельність і конкурувати за якістю з крупами з інших культур [15].

Застосування фотосепараторів у переробці проса – один із ключових напрямів сучасної модернізації круп'яного виробництва, що має безпосередній вплив як на якість готової продукції, так і на економічну ефективність підприємства. На сьогодні фотосепарація перестала бути допоміжним елементом очищення – вона перетворилась на високоточний інструмент контролю, який завдяки цифровим камерам, гіперспектральному аналізу й програмному забезпеченню на базі штучного інтелекту дозволяє не лише відсортовувати

зерно за кольором, а й виявляти приховані дефекти, невидимі візуально: потемніння ендосперму, наслідки ураження фузаріозом, початкову стадію проростання, ферментативні порушення тощо. В українських умовах часто зустрічається суміш різних кольорових форм, а також домішки дикого або недозрілого зерна, що надають крупі нехарактерний відтінок і знижують товарну якість. Фотосепаратори дозволяють точно розділити партії зерна за відтінками, зокрема за відбиттям у ближньому інфрачервоному діапазоні, що відображає внутрішній стан зерна, а не лише його поверхню. Це означає, що навіть зерна однакового кольору, але з різною структурою ендосперму, можуть бути розділені.

Інтеграція фотосепараторів у технологічну лінію переробки проса є перспективним рішенням для покращення якості крупи та підвищення ефективності процесу. Аналіз зерна за кольором дозволяє видаляти сторонні домішки, зерна з дефектами або інших видів проса, що важливо як на етапі очищення, так і при контролі готової продукції. Сучасні фотосепаратори Sortex J Spectravision (Buhler) використовують алгоритми штучного інтелекту та спеціалізоване програмне забезпечення для точного аналізу кольору ядра, забезпечуючи глибоке сортування навіть при мінімальній кольоровій варіації. Вони здатні розрізняти зерна за відтінками жовтого, кремового, червоного та сірого кольору, а також виділяти уражені зерна, ядра з темними плямами, пліснявою або ознаками псування. Використання таких систем на двох ключових етапах – на вході та на виході – забезпечує подвійний контроль якості, зменшує частку забракованої продукції, покращує зовнішній вигляд і підвищує товарну вартість шліфованої крупи. Впровадження фотосепараторів також дозволяє скоротити кількість механічних операцій, компенсуючи недоліки класичних методів лушення та шліфування, зберігаючи більший обсяг цілого ядра.

В ході проведення досліджень нами було розроблено технологічний процес переробки проса в крупу шліфовану відповідно до якого очищене від домішок зерно проса з вологістю не більше 14 % спрямовується на етап воднотеплової обробки, який здійснюють за схемою гарячого кондиціювання. При цьому враховуючи особливості проса, як зернової культури, пропарювання проводять у пропарювачах безперервної дії при тиску пари 0,05-0,10 МПа, тривалість пропарювання складає 5-7 хв. На наступному етапі зерно проса підсушують на вертикальних парових сушарках, наприклад «ВПС-О», (виробництва ТОВ «ОЛІС», м. Одеса). Зерно підсушують до вологості не більше 14 %. Після цього одним потоком зерно проса спрямовують на лушення-шліфування. Для даного етапу використовують лущильно-шліфувальні машини типу «Каскад» (виробництва ТОВ «ОЛІС», м. Одеса) або їх аналоги, які працюють за тим же принципом дії. Кількість систем на даному етапі складає дві. Після кожної системи лушення-шліфування суміш продуктів для вилучення борошенця провіюють у повітряних сепараторах із замкнутим циклом повітря. Після цього отримане ядро проса спрямовують на фотосепаратор, який забезпечує контроль якості шліфованого ядра, а також вилучення із суміші шліфованого ядра нелущених зерен, які повертають на першу лущильно-шліфувальну систему. Отримане після обробки у фотосепараторі ядро проса контролюють на вміст металоманітних домішок і спрямовують на фасування або на зберігання у бункери готової продукції.

Розроблений технологічний процес переробки проса в крупу шліфовану має низку переваг, що зумовлюють його ефективність і доцільність у промисловому масштабі. В першу чергу, він враховує фізіолого-технологічні особливості зерна проса, що дозволяє забезпечити оптимальні умови обробки на всіх стадіях технологічного процесу. Застосування гарячого кондиціювання з використанням пропарювання в апаратах безперервної дії при невисокому тиску пари дозволяє досягти зниження крихкості ендосперму і, відповідно, підвищення виходу цілого ядра після лушення-шліфування. Скорочена тривалість термічної обробки (5–7 хв) у поєднанні з помірними температурними параметрами забезпечує збереження біологічної цінності зерна, мінімізуючи втрати термолабільних сполук.

Використання сушарок типу «стрічкових», що забезпечують рівномірне підсушування до регламентованої вологості, сприяє стабільності подальших лущильно-шліфувальних операцій. Застосування двох послідовних систем лушення та шліфування дозволяє поступово видаляти оболонки без надмірного пошкодження ядра. Робота машин типу «Каскад», адаптованих під характер термічно підготовленого зерна проса, сприяє досягненню високих якісних показників готового продукту. Уведення повітряних сепараторів із замкнутим циклом повітря після кожної системи забезпечує ефективне видалення борошенця.

Додатковим технологічним етапом, що посилює переваги процесу, є застосування фотосепараторів. Вони дають змогу автоматизовано контролювати якість шліфованого ядра за кольором і структурною однорідністю, а також повертати у технологічний процес нелущене зерно, підвищуючи загальний вихід кінцевого продукту.

Висновки. Узагальнюючи результати аналізу, можна зробити висновок, що просо є однією з найдавніших і водночас перспективних зернових культур, яка відіграє важливу роль у забезпеченні продовольчої безпеки в аридних регіонах світу, зокрема в Азії та Африці. Незважаючи на нішевий характер у глобальному агровиробництві, просо має значний потенціал для розширення як у сфері харчування людей з особливими потребами (зокрема при целіакії), так і в контексті функціонального харчування завдяки своїм антиоксидантним властивостям, безглютеності та високому вмісту складних вуглеводів. Попри наявність сучасної нормативної бази та стабільну селекційну роботу, в Україні просо залишається малопоширеною культурою як за площею посівів, так і за обсягами переробки. Основним продуктом, що виробляється, є крупа пшоно шліфоване, проте її невисокий попит на внутрішньому ринку обмежує розвиток асортименту продукції з

проса. Розроблена технологія виробництва крупи з проса забезпечить скорочення етапів технологічного процесу та підвищити якість отриманої продукції.

References

1. He, K., Lu, H., Zhang, J., & Wang, C. (2022). Holocene spatiotemporal millet agricultural patterns in northern China: A dataset of archaeobotanical macroremains. *Earth System Science Data*.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). *FAOSTAT: Crops and livestock products: Millet, area harvested and production data by country* [Elektronnyi resurs]. Otrymano z <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
3. Prodovol'cha ta sil'skohospodars'ka orhanizatsiia OON. (2023). *Mizhnarodnyi rik prosa 2023* [Elektronnyi resurs]. Otrymano z <https://www.fao.org/millet-2023/en/>
4. Saleh, A. S. M., 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. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12012>
5. Zieliński, H. (2023). Proso millet (*Panicum miliaceum* L.) as alternative source of starch and phenolic compounds: A study on twenty five worldwide accessions. *Molecules*, 28(17), Article 6339. <https://doi.org/10.3390/molecules28176339>
6. Dykes, L., & Rooney, L. W. (2021). Millets as potential nutri cereals: A review of nutrient composition, phytochemical profile and techno functionality. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8), 3703–3718.
7. El Shemy, A., et al. (2024). Varietal differences in phenolic compounds and antioxidant activity in finger millet (*Eleusine coracana*): A comprehensive review. *Planta*. <https://doi.org/10.1007/s00425-024-04502-2>
8. Drebot, O., & Vysochans'ka, M. (2024). Shchodo efektyvnosti vyrobnytstva prosa–nishevoi sil'skohozyais'koi kultury. *Ekonomika ta suspilstvo*, (67).
9. Shevchenko, N. V. (2024). Sortovi resursy prosa v Ukraini. *Ahrarni innovatsii*, (25), 102–107.
10. Il'chuk, M., & Berezovska, L. (2025). Perspektyvy eksportu zerna ukrains'kykh nishevykh kultur. *Pidpryiemnytstvo ta innovatsii*, (34), 205–210. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34.33>
11. DSTU 5026:2008 «Proso. Tekhnichni umovy».
12. Ministerstvo ahrarnoi polityky ta prodovol'stva Ukrainy. (2025). *Derzhavnyi reiestr sortiv roslin, prydatnykh dlia poshyrennia v Ukraini na 2025 rik* [Elektronnyi resurs]. Otrymano z <https://minagro.gov.ua/file-storage/reiestr-sortiv-roslin>
13. Shutenko, Ye. I., & Sots, S. M. (2010). *Tekhnolohiia krupiannoho vyrobnytstva* [Navchalnyi posibnyk]. Kyiv: Osvita Ukrainy.
14. Pravyta orhanizatsii i vedennia tekhnolohichnoho protsesu na krupianykh zavodakh. (1998). Kyiv, 164 s.
15. Malleshi, N. G. (2006). *U.S. Patent No. 7,029,720*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. Otrymano z <https://patentimages.storage.googleapis.com/d6/55/ef/c34cf27857318f/US7029720.pdf>

FEATURES OF MILLET GROAT PRODUCTION

Sots S., PhD of Technical Science, Associate Professor, Kustov I., PhD of Technical Science, Associate Professor, Chehlatoniev V., post graduate student
Odesa National University of Technology

Abstract. Millet is one of the oldest cultivated crops—archaeobotanical evidence indicates that it was grown in China around 8000 BCE. Today, this cereal plays an important role in the diets of populations in arid regions of Asia and Africa, although it occupies rather a niche position in the global agricultural system. Worldwide, the sown area reaches 30–33 million hectares, and annual production amounts to 28–32 million tonnes. The leading producers include India (over 10 million tonnes from more than 10 million hectares), Niger (3–4 million tonnes from over 6 million hectares), China (up to 2 million tonnes from 1–1.5 million hectares), as well as Mali, Nigeria, Sudan, and other countries. In 2023, the UN declared the International Year of Millets, which stimulated research and popularization of the crop in countries with traditionally low consumption levels.

The nutritional value of millet determines its use in gluten-free diets: the grain contains 10–12% protein, 65–75% starch, 3–4% fat, 8–10% fiber, as well as phenolic compounds, flavonoids, and tocopherols. Its proteins consist mainly of prolamins and globulins, which are rich in lysine but have lower biological value compared to wheat or maize. The starch is characterized by a low swelling temperature, which enhances the culinary properties of the groats.

Colored types of millet exhibit specific properties: white millet is easy to polish and yields light-colored groats with high starch content; cream-colored millet has a soft texture and pronounced antioxidant properties; yellow millet is rich in carotenoids and well-suited for functional foods; red millet has a high polyphenolic profile; and gray millet has the coarsest hull, is rich in micronutrients and antioxidants, and is valuable in the production of functional foods.

In Ukraine, according to FAO and State Statistics data, the millet sown area over the past decade has ranged from 20 to 100 thousand hectares, with gross harvests between 50 and 250 thousand tonnes. In 2022–2024, the area decreased to 20–25 thousand hectares and production fell to 40–70 thousand tonnes; in 2023, around 58 thousand tonnes were harvested from 21 thousand hectares. Millet accounts for less than 1% of the domestic groat market.

Ukrainian national standard DSTU 5026:2008 regulates the classification and quality of millet grain: it defines color groups (Type I – white/cream, Type II – yellow, Type III – red-brown) and intended uses (higher classes for groats, lower ones for malt or feed). The standard also specifies requirements for moisture content ($\leq 13.5\%$), kernel integrity ($\geq 76\text{--}80\%$), grain size, foreign matter, and impurities.

As of July 2025, 37 varieties of *Panicum miliaceum* are registered in the Ukrainian Plant Variety Register. Among them, the most popular are Myronivske 51, Kyivske 87, Kyivske 96, and nine modern varieties registered over the last five years (e.g., Dyvovyzhne, Kazkove Dzherelo, Peremozhne, PS Lileia, and others). These varieties support the expansion of the raw material base for the groat-processing industry.

The classical technology for producing polished millet groats includes cleaning, sorting, dehulling (using one or two decorticators), polishing, separation, quality control, and packaging. The yield of the final product is approximately 60%, but the process is complex, requires considerable space for equipment placement, and the final output rarely exceeds 65%.

An updated technological process has been developed and proposed, involving preliminary hydrothermal treatment (steaming at 0.05–0.10 MPa for 5–7 minutes, followed by drying to $\leq 14\%$) before combined dehulling and polishing using a two-system setup, along with the application of photoseparators and modern dryers (e.g., “Cascade”, “VPS-O”). This approach reduces endosperm brittleness, increases the yield of whole kernels, and minimizes the loss of biologically active components. AI-based photoseparators provide precise control of grain and kernel quality by detecting color and internal defects, improving both the quality and marketability of the final product.

Keywords: groat production, millet, polished groats, steaming, improvement of groat quality, shortening of technological process.

Список використаної літератури

1. He K., Lu H., Zhang J., Wang C. Holocene spatiotemporal millet agricultural patterns in northern China: a dataset of archaeobotanical macroremains. *Earth Syst. Sci. Data*, 2022.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT: Crops and livestock products: Millet, area harvested and production data by country [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
3. Продовольча та сільськогосподарська організація ООН. Міжнародний рік проса 2023 [Електронний ресурс] // FAO. – Режим доступу: <https://www.fao.org/millet-2023/en/>
4. Saleh A. S. M., Zhang Q., Chen J., Shen Q. Millet Grains: Nutritional Quality, Processing, and Potential Health Benefits // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2013. – Vol. 12, № 3. – С. 281–295. – DOI: 10.1111/1541-4337.12012.
5. Zieliński H. Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) as Alternative Source of Starch and Phenolic Compounds: A Study on Twenty-Five Worldwide Accessions // *Molecules*. – 2023. – Vol. 28(17). – Article 6339. – DOI: 10.3390/molecules28176339.
6. Dykes L., Rooney L. W. Millets as potential nutri-cereals: a review of nutrient composition, phytochemical profile and techno-functionality // *Int. J. Food Sci. Technol.* – 2021. – Vol. 56(8), pp. 3703–3718.
7. El-Shemy A. et al. Varietal differences in phenolic compounds and antioxidant activity in finger millet (*Eleusine coracana*): a comprehensive review // *Planta*. – 2024. – DOI: 10.1007/s00425-024-04502-2.
8. Дребот, О., & Височанська, М. (2024). Щодо ефективності виробництва проса–нішевої сільськогосподарської культури. *Економіка та суспільство*, (67).
9. Шевченко, Н. В. (2024). Сортові ресурси проса в Україні. *Аграрні інновації*, (25), 102–107.
10. Ільчук, М., & Березовська, Л. (2025). ПЕРСПЕКТИВИ ЕКСПОРТУ ЗЕРНА УКРАЇНСЬКИХ НІШЕВИХ КУЛЬТУР. *Підприємництво та інновації*, (34), 205–210. <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34.33>
11. DSTU 5026:2008 «Просо. Технічні умови»
12. Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні на 2025 р.. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reystyr-sortiv-roslin>
13. Шутенко, Є.І. Технологія круп'яного виробництва: навч. Посібник [Текст] / Є.І. Шутенко, С.М. Соц. – К.: Освіта України, 2010. – 272 с.
14. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. – К., 1998. – 164 с.
15. Malleshi, N. G. (2006). U.S. Patent No. 7,029,720. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patentimages.storage.googleapis.com/d6/55/ef/c34cf27857318f/US7029720.pdf>

Отримано в редакцію 20.06.2025

Прийнято до друку 02.09.2025

Received 20.06.2025

Approved 02.09.2025