

УДК 664.8:633.16:637.1
DOI: 10.15673/swonaft.v89i2.3410

ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПЛЮЩЕНИХ КРУП З ПЛІВЧАСТИХ ПШЕНИЦЬ

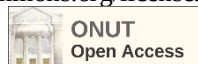
С.М. Соц, канд. техн. наук, доцент, О.І. Доній, аспірантка
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна

ORCID: ¹<https://orcid.org/0000-0002-3267-2384>; ²<https://orcid.org/0009-0002-3424-1753>
E-mail: ¹sotsereg@gmail.com, ²doniy.lesya99@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. Сучасне вирощування полби та спельти в Україні є нішевим і характеризується обмеженими, але стабільними обсягами. Переважна частка належить полбі (60–65 %), тоді як спельта становить 35–40 %. Основні регіони їх вирощування – Полтавська, Черкаська, Кіровоградська, Вінницька області. Загальний обсяг виробництва круп із полби оцінюється в 12–15 тис. тонн на рік, зі спельти – 6–8 тис. тонн, при цьому круп з цілого ядра складають основну частину асортименту. Пластівці, круп'яне борошно, мюслі, зернові батончики та сніданки формують нішевий сегмент продуктів із підвищеною харчовою цінністю, де полба використовується як основа, а спельта забезпечує органолептичні та біохімічні властивості цих продуктів. Селекційна робота в Україні ведеться системно і охоплює створення сортів полби (Антарес, Голіковська, Романівська, Юніка) та спельти (Вишиванка білоцерківська, Евріка, Зоря України, Європа), орієнтованих на стабільну врожайність, адаптацію до різних ґрунтово-кліматичних умов та технологічну придатність зерна для виробництва круп, борошна та спеціалізованих продуктів харчування. Інтеграція іноземних сортів сприяє розширенню генетичної бази і порівняльному оцінюванню потенціалу рослин у вітчизняних умовах. Технологічна специфіка плівчастих форм пшениці потребує розробки нормативів і стандартів, що визначають межі показників якості зерна. Відсутність чітких нормативних документів ускладнює прогнозування якості продукції та стабільності виходу круп і борошна, що створює необхідність науково обґрунтованого підходу до переробки цих культур в масштабах круп'яної та борошномельної галузі країни. Досліджено вплив режимів воднотеплової обробки цілого ядра спельти на вихід плющеного ядра залежно від початкової вологості, тиску пари та тривалості пропарювання. При тиску пари 0,15 МПа та тривалості пропарювання 180 с вихід плющеного ядра змінювався від 81,8 % при початковій вологості 18 % до 91,1 % при вологості 24 %. Збільшення тривалості пропарювання до 360 с збільшувало вихід до 86,7–94,2 % залежно від початкової вологості. При тиску пари 0,20 МПа відзначено підвищену ефективність процесу. При початковій вологості 18 % і тривалості пропарювання 180 с вихід складав 84,6 %, а при тривалості пропарювання 360 с – 88,9 %, що перевищувало відповідні значення при 0,15 МПа (81,8 % і 86,7 %). Підвищений тиск прискорює проникнення тепла та вологи, сприяє частковій денатурації білків і рівномірному набухання крохмалю, що критично для формування пластичних властивостей ядра. При початковій вологості 20 % при тиску 0,20 МПа тривалістю 180 с вихід плющеного ядра складав 88,3 %, а при тривалості пропарювання 360 с – 92,1 %, тоді як при 0,15 МПа вихід складав відповідно 86,2 % і 90,8 %. Для вологості 22 % вихід плющеного ядра при 0,20 МПа збільшувався від 91,4 % за 180 с до 94,8 % при тривалості пропарювання 360 с, тоді як при 0,15 МПа вихід складав відповідно 89,7 % та 93,5 %. Максимальний вихід 96,0 % спостерігався при вологості 24 % та пропарюванні 360 с за тиску 0,20 МПа, тоді як при 0,15 МПа за тих же режимах знаходився на рівні 94,2 %.

Ключові слова: полба, спельта, хімічний склад, круп'яні продукти, технологічні властивості, плющені продукти, режими пропарювання, вихід плющеного ядра.

Полба і спельта – плівчасті форми пшениці з давньою історією, які відігравали важливу роль у розвитку землеробства. Обидві культури відносяться до перших одомашнених злаків і відрізняються міцним зрощенням ядра з оболонкою, що впливало на способи обмолоту та зберігання протягом тисячоліть. Полба має 28 хромосом і походить від пшениці *Triticum dicoccoides*, тоді як спельта – 42-хромосомна культура, яка виникла через природне схрещування полби з гексаплоїдними пшеницями.

Археологічні знахідки показують, що полбу почали вирощувати на території Родючого Півмісяця приблизно 10–12 тисяч років тому. Зерно знайдене у поселеннях раннього неоліту Сирії, Лівану та Ізраїлю підтверджує її роль у харчуванні людей того часу. Спельта з'явилася пізніше, у III–II тисячолітті до н.е., в Центральній та Південно-Східній Європі, зокрема у передальпійських регіонах. Вона витримує холод і швидко дозріває, що дозволяло отримувати врожай у гірських умовах. В Стародавньому Єгипті та Месопотамії полба була важливим харчовим злаком. Спельта використовувалася в гірських господарствах Центральної Європи. Завдяки оболонці зерно довго зберігалось і використовувалося для виробництва круп та борошна. Протягом середньовіччя площі під полбою скорочувалися через поширення голозерних сортів пшениці, які легше обробляти. Спельта залишалася основною культурою у гірських районах Швейцарії, Австрії та Німеччини, а технології обмолочування і переробки зерна удосконалювалися. У XIX–XX століттях вирощування обох культур зменшилося через поширення високоврожайних голозерних сортів і трудомісткість обробки. Вони залишилися переважно в малих господарствах для власного споживання або у важких кліматичних умовах, підтримуючи аграрне різноманіття. З другої половини XX століття у Західній Європі та Північній Америці відновився інтерес до стародавніх пшениць як до цінної сировини для харчової промисловості. Полбу і спельту стали вирощувати для виробництва круп і борошна спеціального призначення. Селекційні програми націлені на підвищення врожайності, стійкості до хвороб і технологічних властивостей зерна, що дозволяє сучасно обробляти ці культури. В Україні полба відома ще з неоліту. В V–IV тисячолітті до н.е. полбу вирощували на Поділлі, Волині, у центральних регіонах та Карпатах, разом з ячменем і голозерною пшеницею, для стабільного продовольчого забезпечення. Спельта історично була поширена лише в гірських і передгірських районах Закарпаття, Передкарпаття та Волині. В середньовіччі в Україні полба залишалася важливою культурою на малородючих землях Подніпров'я, Лівобережжя та Поділля, а спельта – в Карпатах. З XIX до середини XX століття площі вирощування обох культур зменшилися через інтенсивні сорти голозерної пшениці, але вони зберігалися там, де інші злаки не давали стабільного врожаю [1-4].

Світове виробництво спельти та полби на сьогодні має чітко виражений нішевий характер і суттєво поступається обсягам сучасної м'якої та твердої пшениці, однак характеризується стабільними регіонами їх вирощування та визначеними напрямками їх застосування у харчовій промисловості. Загальний обсяг світового виробництва спельти оцінюється приблизно у 500 тисяч тонн на рік, тоді як полба виробляється у значно менших кількостях – на рівні 50–60 тисяч тонн. Переважна частка цих обсягів припадає на країни Європи, які історично зберегли як насінневу базу, так і традиції вирощування та переробки плівчастих форм пшениці. В європейському регіоні провідні позиції займає Франція, де річне виробництво спельти становить близько 210 тис. тонн, а полби – 25 тис. тонн. Значні обсяги зосереджені також в Німеччині, де відповідні показники сягають 160 тис. і 20 тис. тонн. У Великобританії щорічно виробляють близько 55 тис. тонн спельти та 5 тис. тонн полби, в Польщі – 45 тис. і 22 тис. тонн, в Румунії – 28 тис. і 6 тис. тонн. Менші, але стабільні обсяги фіксуються в Італії, де виробництво спельти становить 22 тис. тонн, а полби – 6–7 тис. тонн, в Болгарії – 7–8 тис. і 2–3 тис. тонн, в Угорщині – 6–7 тис. і 2 тис. тонн, в Чехії – 5–6 тис. і 1–2 тис. тонн, а в Австрії – 4–5 тис. тонн спельти та близько 1 тис. тонн полби. Для всіх європейських країн характерна кількісна перевага спельти над полбою, хоча співвідношення між цими культурами істотно відрізняється: у Франції та Німеччині воно наближається до 8:1, у Великобританії – до 11:1, тоді як у Польщі складає приблизно 2:1.

Поза межами Європи виробництво спельти та полби має значно менші масштаби. У Північній Америці в США щорічно отримують 12–15 тис. тонн спельти і 3–4 тис. тонн полби, у Канаді – 5–6 тис. і 1–2 тис. тонн відповідно. В інших регіонах світу ці культури вирощуються локально та здебільшого орієнтовані на внутрішній ринок. В Андських горах обсяги становлять 1–2 тис. тонн спельти і лише кілька сотень тонн полби, у Північній Африці – декілька тисяч тонн спельти і менше ніж тисяча тонн полби. В Австралії виробляють 3–4 тис. тонн спельти та близько 1 тис. тонн полби, в Азії – 2–3 тис. і 0,5–1 тис. тонн, у Центральній Азії – 1–2 тис. тонн спельти і кілька сотень тонн полби. Світовий ринок цих культур формується насамперед в європейському просторі, тоді як інші регіони відіграють другорядну роль [5-8].

Основним напрямом переробки зерна спельти та полби залишається виробництво круп. В країнах Європейського Союзу на цей сегмент припадає 58–62 % усієї переробленої спельти та 70–75 % полби. Найбільші обсяги виробництва круп зі спельти зосереджені в Німеччині, де річне виробництво досягає 180 тис. тонн, а також в Австрії з показниками 45–50 тис. тонн. Крупи з полби виробляються у менших масштабах, при цьому Італія та Франція разом забезпечують близько 55 тис. тонн цієї продукції. Окремий сегмент займають пластівці зі спельти: в Німеччині, Швейцарії та Нідерландах їх виробляють сумарно 140–150 тис. тонн, у США – близько 80 тис. тонн. Для полби цей напрям менш розвинений і становить приблизно 8–9 тис. тонн в межах Європи. Мюслі зі спельти поширені насамперед в країнах Європейського Союзу, де їх частка становить близько 8–10 % і відповідає приблизно 45 тис. тонн на рік, тоді як у США цей показник значно нижчий і становить близько 4 %, або орієнтовно 18 тис. тонн. Вироби

типу зернових батончиків зі спельтою мають ще менше поширення: в країнах ЄС їх виробляють до 12 тис. тонн, що відповідає приблизно 3 %, а у США – близько 20 тис. тонн, або близько 5 %. Продукція з полби у цьому сегменті трапляється значно рідше і загальні обсяги її виробництва оцінюються лише у 3–5 тис. тонн. Борошно зі спельти та полби вважається нішевим продуктом, що зумовлено плівчастою структурою зерна, яка потребує додаткового лушення та призводить до зниженого виходу готової продукції. Вихід борошна зазвичай становить 60–68 %, тоді як для сучасних сортів пшениці цей показник досягає 75–78 %. Борошно зі спельти значно активніше використовується у хлібопеченні: в Німеччині та Австрії його частка складає 6–8 % у сегменті спеціального пшеничного борошна, при цьому близько двох третин цього обсягу спрямовується саме на виробництво хліба. Для борошна з полби ці показники значно нижчі і не перевищують 1–2 %. У кондитерських výroбах, зокрема у виробництві печива та бісквітів, борошно з обох культур застосовується більше: в Італії, Франції та Швейцарії його частка сягає 10–12 %, причому близько половини всього борошна з полби використовується саме у цьому напрямі. Макаронні вироби зі спельти виготовляють рідше, і їх частка становить 2–3 %, тоді як полба може використовуватися у сумішах у кількості до 30 %. В Європі щорічно виробляють близько 450–500 тис. тонн борошна зі спельти та полби, що відповідає лише 0,4–0,5 % від загального обсягу пшеничного борошна. Приблизно 45 % цієї продукції спрямовується на хлібопечення, 35 % – на кондитерські вироби, 10 % – на макаронні вироби, а решта використовується для інших продуктів або реалізується через роздрібні мережі [9–13].

Полба і спельта належать до плівчастих пшениць, зерно яких за хімічним складом і співвідношенням основних компонентів відрізняється від зерна сучасних голозерних сортів пшениці. Для них характерний підвищений вміст білка, інший фракційний склад білкових речовин і відмінності у властивостях крохмалю. Білковий комплекс формується з більшою часткою альбумінів і глобулінів, що впливає на якість клейковини, тоді як крохмаль характеризується змінним співвідношенням амілози й амілопектину та особливостями розподілу крохмальних зерен за розмірами. Ліпідна, вітамінна і мінеральна частини також відрізняються кількісно, що в сукупності визначає специфіку хімічного складу зерна полби і спельти та зумовлює інші властивості продуктів їх переробки. Масова частка білка в зерні полби коливається від 14 до 22 %, у спельти від 16 до 20 %. Білковий комплекс включає альбуміни, глобуліни, проламіни та глутеліни. Альбуміни становлять у полбі близько 20–22 % від загальної маси білка, глобуліни – 18–20 %. Проламіни у полбі складають 35–38 %, глутеліни – 20–25 %. У спельти альбуміни становлять 18–20 %, глобуліни – 16–18 %, проламіни – 32–34 %, глутеліни – 28–30 %. Співвідношення проламінів і глутелінів у полбі приблизно 1,5, у спельти – 1,1, що відображає відмінності в білковому складі цих культур. Амінокислотний склад білків полби включає незамінні амінокислоти в таких частках: лізин 4,2–4,5 % від маси білка, треонін 3,1–3,4 %, валін 4,0–4,3 %, ізолейцин 3,2–3,5 %, лейцин 6,0–6,3 %. Замінні амінокислоти представлені проліном 12–14 %, глутаміною кислотою 18–20 %, аспарагіною кислотою 7–8 %, серином 4,5–5,0 %. Сірковмісні амінокислоти цистин і метіонін становлять 1,0–2,0 % від маси білка. У спельти амінокислотний склад подібний, але частка проліну та глутамінової кислоти дещо нижча, відповідно 10–12 і 16–18 %, що відображає більш рівномірний розподіл білкових фракцій. Масова частка жиру в зерні полби складає 2,5–3,5 %, у спельти 2,0–3,0 %. Жирова фракція локалізована переважно в зародку та алеїроновому шарі. Жирні кислоти представлені лінолевою кислотою 50–55 %, олеїною 25–30 %, пальмітиною 10–15 %, ліноленою 2–3 %, стеариною 3–5 %. В полбі частка поліненасичених жирних кислот трохи вища, у спельти співвідношення насичених і ненасичених кислот більш збалансоване. Крохмаль є основним компонентом вуглеводного комплексу. В полбі його вміст становить 55–65 %, у спельти 60–68 %. Крохмаль складається з амілози та амілопектину. Для полби частка амілози становить 25–30 %, амілопектину – 70–75 %; у спельти амілоза 22–28 %, амілопектин 72–78 %. Крохмальні зерна неоднорідні за розміром: великі лінзоподібні та дрібні округлі. В полбі більша частка дрібних зерен, у спельти співвідношення більш рівномірне з переважанням великих зерен. Цукри представлені глюкозою, фруктозою та сахарозою. В полбі їх масова частка становить 1,2–1,8 %, у спельти 1,0–1,5 %. Переважання редуруючих цукрів в полбі трохи вище, ніж у спельти. Клітковина зосереджена в оболонках і алеїроновому шарі. В полбі її вміст коливається від 12 до 18 %, у спельти – 10–15 %. Клітковина складається з целюлози 25–30 % від загальної маси клітковини, геміцелюлоз 55–60 % і пектинових речовин 10–15 %. Вітаміни в зерні представлені тіаміном 0,40–0,55 мг. на 100 гр., рибофлавіном 0,15–0,25 мг., ніацином 4,5–5,5 мг., піридоксин 0,40–0,55 мг., фолієвою кислотою 0,045–0,060 мг. на 100 гр. зерна. Токоферолі зосереджені в ліпідній фракції, їх концентрація становить 15–20 мг. на 100 гр. зерна. Мінеральний комплекс складається з макроелементів і мікроелементів. Фосфор у зерні полби становить 350–450 мг. на 100 гр., у спельти 340–430 мг.; калій відповідно 350–400 і 340–390 мг.; магній 120–150 і 110–145 мг.; кальцій 20–35 і 18–30 мг. Мікроелементи представлені залізом 4–5 мг. у полбі і 3,8–4,5 у спельти, цинком 3–4 і 2,8–3,5 міліграми, марганцем 1–1,5 і 0,9–1,4 міліграми, міддю 0,4–0,6 і 0,35–0,55 мг. на 100 гр. зерна [14–17].

Полба та спельта в Україні належать до нішевих зернових культур із стабільним обсягом виробництва.

Більшу частину 60–65 % складає полба, в той час як частка спельти є меншою і складає 35–40 %. Обсяг вирощування полби опосередковано складає від 12 до 25 тис. тонн, спельти – від 8 до 15 тис. тонн. Провідне місце по вирощуванню полби займає Полтавська область де щороку вирощується приблизно від 8 до 9 тис. тонн даної культури. Черкаська, Кіровоградська та Вінницька, вирощують від 3 до 7 тис. тонн полби на рік. На заході країни, полба вирощується в менших обсягах, в Львівській, Івано-Франківській та Тернопільській, областях опосередковано вирощується від 1,5 до 4,5 тис. тонн. Житомирська та Чернігівська, вирощують від 0,96 до 2,5 тис. тонн полби на рік. Південні області, зокрема Херсонська та Миколаївська, вирощують від 0,36 до 1,5 тис. тонн полби. Спельта в Україні вирощується в тих же регіонах, але в менших обсягах. У Полтавській області вирощується від 2 до 4,5 тис. тонн спельти щороку. Лісостепові області забезпечують від 1,5 до 3,5 тис. тонн. Західні області вирощують від 1 до 3 тис. тонн. Центральні області формують від 0,56 до 1,4 тис. тонн. Південні області вирощують від 0,24 до 0,9 тис. тонн спельти. В Україні загальний обсяг виробництва круп за останні 10 років складає від 262 тис. тонн до 415 тис, серед них круп'яні продукти з полби та спельти займають незначний нішевий сегмент, формуючи традиційний асортимент асортимент, який включає крупи з цілого ядра, крупи з подрібненого ядра, пластівці, круп'яне борошно, мюслі, зернові батончики та зернові сніданки. Загальний обсяг виробництва продуктів із полби оцінюється приблизно у 12–15 тис. тонн на рік, зі спельти – 6–8 тис. тонн. Крупи з цілого ядра складають основну частину цих продуктів. Більшу частину забезпечує полба – опосередковано 60–65 % обсягу круп із цілого ядра, в той час як частка спельти є меншою і складає – 35–40 %. Виробництво круп з цілого ядра при переробці полби опосередковано становить близько 4–5 тис. тонн на рік, спельти – 1,5–3 тисяч тонн. Крупи з подрібненого ядра складають менш значущу за обсягами частину асортименту порівняно з продуктами з цілого ядра. В структурі цього виробництва провідну роль відіграє полба, на яку припадає орієнтовно 60–65 % обсягу, тоді як частка спельти становить близько 35–40 %. Річне виробництво круп із подрібненого ядра при переробці полби оцінюється приблизно 3–4 тис. тонн, спельти – у межах 1–2 тис. тонн. Крупи з подрібненого ядра представлені переважно продуктами швидкого приготування та комбінованими зерновими сумішами, де полба та спельта використовуються як компоненти з підвищеною харчовою цінністю. Виробництво плющеного ядра із полби та спельти є обмеженим проте характеризується відносною стабільністю. Загальний обсяг виготовлення плющеного ядра із полби становить близько 1,5–2 тис. тонн на рік, тоді як зі спельти – 0,5–1 тис. тонн. В структурі цього напрямку частка полби складає орієнтовно 65 %, спельти – близько 35 %. Пластівці використовуються як складова функціональних сумішей, каш швидкого приготування і продуктів підвищеної харчової цінності, орієнтованих на споживачів, для яких важливими є поживність і біологічна повноцінність зернової сировини. Круп'яне борошно з полби та спельти займає окрему нішу в асортименті продуктів переробки. Річні обсяги виробництва борошна з полби становлять приблизно 2–3 тис. тонн, зі спельти – 1–1,5 тис. тонн. Полба у цьому напрямі формує близько 65–70 % загального обсягу, тоді як на спельту припадає 30–35 %. Таке борошно використовується у виробництві каш, сухих сумішей, продуктів для дитячого та спеціалізованого харчування і є важливим компонентом рецептур із підвищеним вмістом білка та мінеральних речовин. Мюслі, зернові батончики та готові зернові сніданки утворюють окремий напрям готової продукції на основі полби і спельти. Обсяги виробництва мюслі з полби оцінюються на рівні 0,8–1,2 тис. тонн на рік, зі спельти – 0,5–0,8 тис. тонн, тоді як зернові батончики з полби виготовляються у кількості близько 0,5–0,7 тис. тонн, зі спельти – 0,3–0,5 тис. тонн. Зернові сніданки на основі полби виробляються у межах 0,5–0,8 тис. тонн на рік, зі спельти – 0,3–0,5 тис. тонн. Сумарно обсяг готових продуктів із полби становить приблизно 2,8–3,5 тис. тонн, зі спельти – 1,1–1,8 тис. тонн. У цих продуктах полба формує основу складу, тоді як спельта використовується для підвищення біологічної цінності та формування органолептичних характеристик, що зумовлює їх орієнтацію на функціональне та нішеве харчування [18–22].

В Україні селекційна робота з полбою та спельтою в порівнянні з іншими злаковими і бобовими культурами має не таку тривалу історію але ведеться системно протягом кількох десятиліть у межах наукових програм з вивчення та збереження генетичних ресурсів зернових культур, а також створення сортів, адаптованих до сучасних агроекологічних умов. Провідним науковим центром, який займається селекцією полби в Україні, є Інститут рослинництва імені В. Я. Юр'єва Національної академії аграрних наук України. Саме тут зосереджено основні колекції вихідного матеріалу, проводяться дослідження з вивчення морфологічних, біологічних та господарсько-цінних ознак, а також реалізуються програми зі створення нових сортів, придатних до вирощування в різних ґрунтово-кліматичних зонах країни. На базі Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва було створено і зареєстровано кілька сортів полби, які відображають різні етапи розвитку селекційних підходів. Сорт Голіковська, внесений до Державного реєстру у 2015 році, став одним із перших сучасних сортів полби української селекції та був орієнтований на стабільність росту і врожайності в умовах помірного землеробства. Сорт Романівська, зареєстрований у 2016 році, характеризується подальшим удосконаленням морфологічних ознак та адаптивних

властивостей, що розширило можливості його використання в різних регіонах. Наступним етапом розвитку селекції полби стало створення сорту Юніка, внесеного до реєстру у 2020 році. Цей сорт відображає більш сучасні вимоги до культури, зокрема орієнтацію на стабільність показників якості зерна, рівномірність формування врожаю та кращу придатність до наукових досліджень і технологічних випробувань. Сорт Антарес, зареєстрований у 2021 році, є одним із найновіших досягнень української селекції полби і свідчить про подальший розвиток напрямів, пов'язаних з адаптацією культури до змін погодних умов. Одним із ключових центрів селекції спельти в Україні є Білоцерківська дослідно-селекційна станція Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків Національної академії аграрних наук України. У межах дослідних програм цієї установи проводиться систематична робота з селекції та оцінювання вихідного матеріалу, вивчення морфологічних і біологічних особливостей рослин, а також формування сортів, адаптованих до умов дослідних і виробничих посівів. Результатом цієї діяльності стало створення сортів Вишиванка білоцерківська та Евріка, які були внесені до Державного реєстру сортів рослин України у 2020 році. Їх поява відображає сучасний етап селекції спельти, що характеризується більш глибоким врахуванням генетичних особливостей культури, стабільності прояву основних ознак та придатності сортів до довготривалих досліджень. Сорти Вишиванка білоцерківська та Евріка є прикладом спрямованої селекції, їх створення пов'язане з необхідністю отримання сортів, здатних формувати стабільну врожайність у змінних погодних умовах, а також забезпечувати передбачувані показники якості зерна, що має важливе значення для наукових досліджень і подальшої переробки. Ці сорти розглядаються не лише як об'єкти виробничого використання, а і як вихідний матеріал для подальших селекційних програм. Паралельно селекційна робота зі спельтою ведеться у Всеукраїнському науковому інституті селекції, де сформовано власний напрям досліджень, орієнтований на поетапне вдосконалення сортових ліній. У цій установі були створені сорти Зоря України та Європа, зареєстровані у 2012 та 2015 роках відповідно. Сорт Зоря України відображає початковий етап системного підходу до селекції спельти в Україні, коли основна увага приділялася вивченню базових біологічних властивостей культури, стабілізації морфологічних ознак і перевірці адаптації до вітчизняних умов вирощування. Його реєстрація стала важливим кроком у формуванні національної селекційної школи при вивченні спельти. Сорт Європа є логічним продовженням цієї роботи і демонструє еволюцію селекційних методів у напрямі підвищення однорідності сортового матеріалу та стабільності прояву основних ознак. Його створення свідчить про перехід до більш зрілого етапу селекції, коли результати багаторічних спостережень і добору дозволили сформувати сорт із більш прогнозованими характеристиками. У цьому контексті діяльність ВНІС відіграє важливу роль у розширенні наукової бази досліджень спельти та накопиченні досвіду роботи з цією культурою. Поряд із вітчизняними розробками, в Україні використовуються також іноземні сорти спельти, які внесені до Державного реєстру і залучаються до наукових та виробничих досліджень. До таких належать сорт Аттергауер Дінкель австрійського походження, зареєстрований у 2019 році, та сорт Мв Мартонголд угорської селекції, внесений до реєстру у 2022 році. Їх використання має важливе значення для розширення генетичної бази спельти в Україні та створює умови для порівняльного аналізу сортів різного походження. Інтеграція іноземних сортів в національну систему досліджень дозволяє оцінювати особливості селекційних підходів інших країн, зіставляти рівень адаптації та стабільності сортів у вітчизняних умовах і використовувати найуспішніші елементи у власних програмах. Проведення адаптаційних досліджень із залученням іноземного матеріалу сприяє поглибленню наукових уявлень про потенціал спельти та формує підґрунтя для подальшого вдосконалення селекційної роботи. Селекція спельти в Україні перебуває на етапі активного наукового розвитку і характеризується поєднанням власних досягнень із використанням зарубіжного досвіду. Наявність кількох селекційних центрів, зареєстрованих вітчизняних і іноземних сортів та накопиченого дослідного матеріалу створює умови для подальшого системного вивчення цієї культури і її використання у наукових та спеціалізованих напрямках аграрного виробництва [23-25].

В державному реєстрі сортів рослин придатних для поширення на території України [23] представлено кілька сортів спельти та полби, які формують основу вирощування цих культур і використовуються як у виробничій, так і в науково-дослідній практиці. Вони різняться між собою за масою зерна, вмістом білка та технологічною придатністю, що безпосередньо визначає напрями їх промислового використання, зокрема у круп'яному та борошномельному виробництві.

Серед сортів спельти важливе місце займає сорт Аттергауер Дінкель австрійського походження, внесений до державного реєстру у 2019 році. Його маса 1000 зерен становить 63,5–101 г, а вміст білка коливається в межах 14–17 %. Сорт адаптований до вирощування в умовах Степу, Лісостепу та Полісся, що дозволяє отримувати стабільні врожаї в різних природних зонах України. Український сорт спельти Вишиванка білоцерківська, зареєстрований у 2020 році, характеризується вмістом білка на рівні 14,4–14,8 %. Сорт відзначається стабільністю властивостей у різних кліматичних умовах і добре підходить для виробництва круп і борошна зі збалансованими властивостями.

Ще один український сорт спельти, Евріка, внесений до реєстру у 2020 році, має масу 1000 зерен 46–51 г і вміст білка 13,8–16 %. Хоча зерно цього сорту дещо дрібніше порівняно з іншими, воно добре піддається переробці.

Серед сортів іноземного походження, які раніше використовувалися в Україні, слід відмітити німецький сорт Золлернспелз, зареєстрований у 2017 році. Маса 1000 зерен у нього становила близько 52 г, а вміст білка – 14,4 %. Хоча цей сорт вилучений із державного реєстру, він був придатним для виробництва круп і характеризувався достатнім вмістом білка. Водночас за масою зерна він поступався більш сучасним сортам.

Перспективним для промислової переробки є угорський сорт спельти Мв Мартонголд, зареєстрований у 2022 році. Маса 1000 зерен у нього становить 59,2–69,7 г, а вміст білка – 15,7–16,8 %. Такі показники роблять його одним із найбільш придатних варіантів для круп'яного виробництва. Поряд зі спельтою в Україні сформована і сортова база полби, яка представлена кількома вітчизняними сортами, зареєстрованими у різні роки. Основу сучасного вирощування цієї культури становлять сорти Антарес, Голіковська, Романівська та Юніка. Кожен із них відображає певний етап розвитку селекції полби та має свої технологічні особливості, важливі для подальшої переробки зерна. Сорт Антарес, зареєстрований у 2021 році, належить до новіших селекційних досягнень. Маса 1000 зерен у нього становить 32–38 г, а вміст білка коливається в межах 14–17 %. Такі показники свідчать про високу харчову цінність зерна. Завдяки достатньому вмісту білка і відносно однорідній масі зерна цей сорт придатний для переробки в крупи, борошно та інші харчові продукти, де важливими є харчова цінність і стабільність властивостей сировини. Сорт Голіковська, внесений до державного реєстру у 2015 році, є одним із перших сучасних українських сортів полби. Цей сорт використовувався як у виробничій практиці, так і в агротехнологічних і селекційних дослідженнях, що мало важливе значення для подальшого розвитку роботи з культурою. Сорт Романівська, зареєстрований у 2016 році, характеризувався масою 1000 зерен 32,6 г і вмістом білка 14,49 %. За цими показниками зерно відповідає вимогам до харчової якості полби і що дозволяє його використовувати для переробки в круп'яні продукти. Водночас на сьогодні цей сорт виключений із державного реєстру, що може свідчити про його меншу ефективність порівняно з новішими сортами за сукупністю агротехнічних або виробничих показників. Сорт Юніка, зареєстрований у 2020 році, відрізняється більшою масою зерна, яка становить 37–44 г, при вмісті білка 13–14,5 %. Поєднання відносно великого зерна з достатнім рівнем білка робить цей сорт перспективним для промислової переробки. Зерно сорту Юніка забезпечує високий вихід круп і борошна та характеризується стабільними технологічними властивостями. Загалом сорти спельти та полби, зареєстровані в Україні, характеризуються підвищеним вмістом білка та задовільними показниками маси зерна, що відповідає вимогам до цих культур як сировини для харчової промисловості. Наявність як вітчизняних, так і іноземних сортів створює можливості для порівняльних досліджень, удосконалення технологій переробки та подальшого розвитку виробництва продуктів на основі полби і спельти в сучасних умовах.

В Україні переробка полби та спельти, в круп'яні продукти залишається фрагментарною та несистемною. Незважаючи на наявність зареєстрованих сортів і потенціал цих культур, їх використання обмежене одиничними виробничими партіями. Основним чинником є відсутність нормативних документів і стандартів, які б враховували специфічні фізико-хімічні та анатомічні особливості плівчастого зерна. Для голозерних сортів пшениці сформовані загальноприйняті вимоги до якості зерна, встановлені межі натури, маси тисячі зерен, вмісту білка та клейковини, а також розроблені загальноприйняті схеми переробки, проте для полби та спельти подібні нормативи практично відсутні. Це створює умови, в яких зерно потрапляє у виробництво без чіткого розуміння його технологічної поведінки та потенційної якості кінцевого продукту. Відсутність нормативного регулювання проявляється вже на етапі оцінки зерна. Показники натури, плівчастості, маси тисячі зерен, співвідношення білка і клейковини не мають встановлених меж для плівчастих форм пшениці. Це ускладнює прогнозування результатів переробки і створює високі ризики показників виходу продукції та її якості. Для промислових підприємств відсутність таких стандартів означає, що зерно з різними фізико-хімічними властивостями обробляється однаково, що призводить до нестабільності кінцевих продуктів навіть у межах одного виробничого процесу. Анатомічні особливості плівчастого зерна істотно впливають на його переробку. Квіткові оболонки у полби та спельти мають міцний зв'язок з ядром і утворюють єдину складну морфологічну структуру, яка істотно впливає на властивості зерна та визначає особливості його поведінки під час подальших технологічних операцій переробки. Особливістю переробки плівчастого зерна в порівнянні з переробкою звичайної голозерної пшениці є обов'язкова наявність у технологічному процесі етапу лущення з подальшим розділенням продуктів лущення, що, зумовлює збільшення тривалості технологічного процесу та підвищення його енергоємності. Разом із тим плівчисті пшениці характеризуються низкою суттєвих переваг, які компенсують зазначені технологічні ускладнення. До них належить більш збалансований амінокислотний склад білків, підвищена масова частка білка, а також

вищий вміст мікро- і макроелементів та вітамінів у зерні та продуктах його переробки. Клейковина пльвічастих пшениць відзначається специфічними структурними властивостями, що зумовлюють її кращу засвоюваність і меншу подразнювальну дію що важливо для споживачів із підвищеною чутливістю до пшеничних білків, завдяки чому продукти переробки такого зерна можуть розглядатися як сировина для спеціалізованих і дієтичних харчових продуктів. Однією з проблем промислового масштабу є нестабільність виходу круп'яних продуктів. Зерно з різними властивостями проходить однакові режими обробки, що призводить до змін у структурі та якості готової продукції. Внаслідок цього спостерігається не стандартизований і нерівномірний вихід фракцій цілого, подрібненого ядра та борошенця. Відсутність стандартизованих меж режимів переробки ускладнює прогнозування виходу та складу продуктів і робить їх якість непостійною навіть при обробці однорідних партій зерна. Проблема відтворюваності результатів є ключовою для інтеграції полби та спельти у круп'яне виробництво. Нестабільні властивості зерна ускладнюють контроль за процесом переробки, що призводить до непередбачуваного складу круп'яних продуктів. Це обмежує можливості планування виробництва, формування асортименту та прогнозування економічних показників. Внаслідок цього підприємства уникають використання пльвічастих форм у великих обсягах, зосереджуючись на традиційних голозерних сортах, для яких встановлені стандарти і зрозуміла технологічна поведінка.

Не зважаючи на обмеженість переробки полби та спельти і відсутність регламенту в Україні проводяться дослідження з впровадження пльвічастих пшениць у круп'яне виробництво. Відомий технологічний процес виробництва подрібненої крупки з пшениці спельти, що передбачає кілька етапів підготовки та переробки зерна. Зерно очищають від домішок у ситоповітряному сепараторі, каменевідбірній машині та тріерах. Після очищення зерно зволожують до вологості 15,0–15,5 % і залишають для відволоження на 30 хв. Лушення проводять на машині «Каскад» зі ступенем лушення 11–13 %, після чого зерно подрібнюють на вальцювому верстаті і сортують на три фракції: крупу № 1 з найбільшими частками, № 2 – середні частки та № 3 – найдрібніші. Вихід подрібнених круп при цьому складає 87–90 %. Відомі способи виробництва крупки та плющеного ядра з полби. Зерно полби з вологістю 10–14 % надходить на лушення, яке проводять у трьох лущильних системах. На першій системі використовують оббивні машини, на другій та третій – лущильно-шліфувальні машини А1-ЗШН. Після кожної лущильної системи суміш продуктів провіюють в аспіраційних колонках, видаляючи лузгу та частково борошенце. Після третьої системи суміш надходить у круп'яні розсійники А1-БРУ. За допомогою сит Ø 6–7 мм відокремлюють подрібнене ядро та борошенце, тоді як ціле лушене ядро (крупку) отримують на ситах Ø 3,0, 2,5 і 2,0 мм. При виробництві плющеного ядра використовують ціле лушене ядро полби. Його зволожують підігрітою до 60 °С водою до вологості 24–26 % і залишають для відволоження на 5–7 годин. Після цього зерно пропарюють під тиском 0,15–0,20 МПа протягом 5–7 хвилин, темперують 5–10 хвилин і плющують на плющильних верстатах з рифленими вальцями, що мають 6–8 рифлів на сантиметр, ухил 3 % і міжвальковий зазор 0,2–0,4 мм. Після плющення продукт сушать до вологості 12 % і контролюють [26–28].

Світове виробництво плющеного ядра із полби та спельти формує окремий напрям у зерновій промисловості, який набуває дедалі більшого значення у зв'язку з світовим зростанням попиту на продукти здорового харчування та функціональні і дієтичні харчові продукти. Попит на такі продукти визначається їхніми харчовими властивостями, адже пластівці з полби та спельти містять підвищену кількість білка, амінокислот, клітковини, мікро- і макроелементів, що робить їх цінними для продуктів із підвищеною харчовою цінністю та для людей, які прагнуть підтримувати збалансоване харчування. Незважаючи на те, що площі вирощування цих культур у світі поки що залишаються обмеженими, виробництво плющеного ядра демонструє стабільну тенденцію до зростання: щорічно випускаються десятки тисяч тонн плющених продуктів з цих культур, і темпи приросту становлять приблизно 5–7 % на рік, що свідчить про поступову інтеграцію таких продуктів у світову систему. Із загального обсягу вироблених плющених продуктів з полби та спельти до 25 % становлять пластівці, які споживаються як самостійний продукт, до 60 % світового виробництва плющеного ядра із полби та спельти використовується для сумішей та цільнозернових продуктів, а решта 15 % спрямовується на нові формати функціональних харчових продуктів, зокрема мюслі та зернові батончики.

Метою дослідження є аналіз впливу режимів етапу воднотеплової обробки на вихід плющеного ядра при переробленні цілого ядра в плющені продукти отриманого після лушення зерна спельти вирощеного в Україні, сорту «Зоря України» врожаїв 2019–2023 років. Для цього ціле лушене ядро спельти сорту «Зоря України» початковою вологістю 13,5 % зволожували підігрітою водою до 60 °С, до вологості 18–24 %, відволожували протягом 1,5–3,0 год після чого пропарювали при тиску пари 0,15–0,20 МПа протягом 180 та 360 сек. Підготовлене таким чином ядро спрямовували на плющення на лабораторний верстат із гладкими вальцями. Плющення проводили при робочому зазорі 0,3 мм.

Для виробництва плющеного ядра використовувалося наступне лабораторне обладнання:

- лабораторний пропарювач періодичної дії ВК-30;
- валковий верстат «Nagema», який включає в себе валковий верстат з горизонтально розташованими гладкими валками довжиною 150 мм і діаметром 220 мм. Відношення швидкостей валків дорівнює одиниці. Плющення спеціально підготовлених зразків проводили при робочому зазорі 0,3 мм.
- лабораторний розсійник OlisLab 1100, призначений для вивчення гранулометричного складу плющеного ядра шляхом просіювання, на відповідних ситових наборах. Частота горизонтальних коливань 120/200 об/хв, радіус коливань 25 мм, час просіювання зразка 5 хв;
- лабораторна сушарка, яка працює за принципом «киплячого шару», що складається з циліндра з сітчастою поверхнею, в який поміщаються зразки для сушіння, повітропроводу вентилятора, калориферної установки для нагрівання повітря, термометрів для контролю температури повітря;
- ваги технічні, аналітичні та інше допоміжне обладнання.

Методика проведення ВТО складалася з наступних етапів:

- холодне кондиціювання зерна:

Наважку цілого ядра спелити з початковою вологістю 13,5 % зволожували за допомогою пристрою, що розприскує воду протягом 15...20 с підігрітою до 60 °С водою, до вологості 18-24 %, після чого зразок відволожували в герметично закритій ємності протягом 1,5-3,0 год. Кількість води, необхідну для зволоження, розраховували за формулою:

$$B = 3 \cdot \left(\frac{(100 - A)}{(100 - B)} - 1 \right),$$

де В – кількість води, що додається при зволоженні, мл;

З – маса зволожуваного зерна, г;

А – початкова вологість зерна, %;

Б – кінцева вологість зерна, %;

- гаряче кондиціювання зерна:

Пропарювання крупи проводили в лабораторному пропарювачі періодичної дії – автоклаві ВК-30. Наважку засипали в спеціальну сітчасту касету і поміщали в пропарювач. За допомогою впускного і випускного клапанів регулювали тиск та тривалість пропарювання. Пропарювання зразків проводили при тиску пари 0,15-0,20 МПа протягом 180 та 360 сек. Після чого крупу поміщали в теплоізольовану ємність на температуру та направляли на плющення.

Узагальнені результати досліджень впливу зміни режимів воднотеплової обробки цілого ядра на вихід плющеного ядра наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вплив зміни режимів воднотеплової обробки цілого ядра на вихід плющеного ядра

Початкова вологість ядра, %	Тиск пари 0,15 МПа		Тиск пари 0,20 МПа	
	час пропарювання		час пропарювання	
	180 с	360 с	180 с	360 с
18	81,8	86,7	84,6	88,9
20	86,9	90,8	88,3	92,1
22	89,7	93,5	91,4	94,8
24	91,1	94,2	93,2	96,0

Результати досліджень виходу плющеного ядра при тиску пари 0,15 МПа свідчать про залежність ефективності процесу плющення від поєднання попереднього зволоження зерна та тривалості пропарювання. Отримані дані показують, що при тривалості пропарювання 180 с вихід плющеного ядра змінюється в діапазоні від 81,8 % до 91,1 %, тоді як збільшення часу пропарювання до 360 с забезпечує підвищення виходу до 86,7–94,2 %. Така різниця є наслідком глибинних фізико-хімічних і структурно-механічних змін, що відбуваються в ендоспермі зерна під дією вологи та температури. Попереднє зволоження зерна перед пропарюванням є ключовим етапом підготовки сировини до плющення, оскільки воно визначає рівень проникнення вологи до крохмально-білкової матриці та ступінь вирівнювання вологості між поверхневими й внутрішніми шарами ядра. За недостатнього зволоження вода локалізується переважно в оболонках і периферійних зонах ендосперму, тоді як центральні ділянки залишаються щільними, з підвищеною твердістю та низькою здатністю до пластичної деформації. В таких умовах під час пропарювання при тиску 0,15 МПа температура і волога проникають у глиб ядра повільно, а процеси набухання крохмалю та структурних змін білків мають обмежений характер. Це пояснює відносно низький вихід плющеного ядра на рівні 81,8 % при короткому часі пропарювання, коли ендосперм залишається структурно неоднорідним і схильним до крихкого руйнування під дією механічного навантаження валків.

Пропарювання зерна спричиняє комплекс змін, пов'язаних із тепловою денатурацією білків, набуханням крохмалю та зниженням внутрішніх напружень в структурі ендосперму. При тиску пари 0,15

МПа температура насиченої пари є нижчою, ніж за більш інтенсивних режимів, тому для досягнення аналогічного рівня структурної перебудови необхідний триваліший час обробки. За тривалості пропарювання 180 с білкові компоненти ендосперму лише частково розмякшуються, зберігаючи жорсткий просторовий каркас, який обмежує рівномірне набухання крохмалю. Крохмальні зерна в таких умовах поглинають вологу нерівномірно, що призводить до формування зон з різною щільністю та модулем пружності. Під час плющення це зумовлює концентрацію напружень у найбільш твердих ділянках ядра, внаслідок чого відбувається його часткове руйнування з утворенням дрібно подрібнених частинок ядра та борошення, що знижує загальний вихід плющеного ядра.

Зі збільшенням тривалості пропарювання до 360 с спостерігається суттєве покращення технологічних показників. Подовжене пропарювання забезпечує більш глибоке проникнення температури і вологи у внутрішні шари ендосперму, що активізує процеси зволоження крохмалю та сприяє більш вираженій денатурації білків. Білкова матриця втрачає надмірну жорсткість, переходячи у стан підвищеної еластичності, завдяки чому знижується опір деформації при механічному навантаженні. Крохмальні зерна набухають більш рівномірно, збільшуючи об'єм і заповнюючи мікропорожнини в структурі ендосперму. В результаті ядро набуває однорідної пластичності, що дозволяє йому рівномірно розподіляти напруження під час плющення, формуючи більшу кількість плющеного ядра з мінімальним утворенням дрібно подрібнених частинок ядра та борошення.

Зростання виходу плющеного ядра у межах кожної тривалості пропарювання свідчить про визначальну роль попереднього зволоження у формуванні оптимальних структурно-механічних властивостей ядра. За вищого рівня початкової вологості вода розподіляється більш рівномірно по всьому об'єму ендосперму, що значно підвищує ефективність подальшої водотеплової обробки. У таких умовах навіть при тривалості пропарювання 180 с вихід плющеного ядра досягає 91,1 %, оскільки внутрішні шари ядра вже на початковому етапі мають достатній рівень зволоження для пластичної деформації. Пропарювання лише посилює цей ефект, забезпечуючи стабілізацію структури крохмально-білкової матриці та зниження внутрішніх напружень.

За тривалості пропарювання 360 с і достатнього попереднього зволоження досягається максимальний вихід плющеного ядра 94,2 %, що свідчить про наближення структури ендосперму до оптимального стану для плющення. У таких умовах крохмаль перебуває у стані інтенсивного, але контрольованого набухання, без переходу до надмірного руйнування зерен, а білкова матриця виконує функцію еластичного зв'язувального каркаса, який забезпечує цілісність ядра при деформації. Взаємодія цих процесів формує стабільну, однорідну структуру, здатну витримувати значні механічні навантаження без значного крихкого руйнування.

При тиску пари 0,20 МПа вихід плющеного ядра за початкової вологості ядра 18 % і тривалості пропарювання 180 с становив 84,6 %, тоді як при тиску 0,15 МПа за аналогічних умов вихід не перевищував 81,8 %. Пропарювання при більшому тиску пари прискорює проникнення тепла та вологи у внутрішні шари зерна, що сприяє частковій денатурації білків і рівномірному набухання крохмалю, критично важливих для формування пластичних властивостей ядра. Наявність достатньої вологості у внутрішніх шарах ендосперму є визначальною для здатності ядра піддаватися пластичній деформації при плющенні. За початкової вологості 18 % та тривалості пропарювання 180 с при 0,20 МПа внутрішні шари ядра залишаються відносно щільними, що знижує здатність рівномірно розподіляти механічні напруження під час проходження валків плющильного верстата. Крохмально-білкова матриця ядра зберігає високу твердість, що призводить до часткового руйнування структури, формування дрібних часток і борошення. За тих же умов при 0,15 МПа ефект руйнування є більш вираженим: вихід плющеного ядра не перевищує 81,8 %, що демонструє нижчу ефективність процесу.

Збільшення тривалості пропарювання до 360 с при початковій вологості 18 % під тиском 0,20 МПа підвищує вихід плющеного ядра до 88,9 %, тоді як при 0,15 МПа за тривалого впливу вихід збільшується лише до 86,7 %. Це пояснюється тим, що більший час пропарювання дозволяє білковій матриці частково денатувувати, набувати еластичності та забезпечувати більш рівномірний розподіл механічного навантаження під час плющення. Крохмаль у цей час набухає більш однорідно, заповнюючи порожнини всередині ендосперму та зменшуючи локальні зони напруження. Різниця між режимами підкреслює вплив тиску пари як чинника інтенсифікації процесів тепломасообміну: при 0,20 МПа ендосперм прогрівається та зволожується більш рівномірно, що дозволяє збільшити вихід і зменшити утворення на етапі плющення дрібно подрібнених частинок ядра і борошення.

При підвищенні початкової вологості зерна до 20 % ефективність плющення зростає. При тиску 0,20 МПа і тривалості пропарювання 180 с вихід плющеного ядра досягає 88,3 %, тоді як за 0,15 МПа максимальний вихід при тих самих умовах не перевищує 86,2 %. Це пояснюється тим, що більший об'єм вологи забезпечує підвищену пластичність внутрішніх шарів ядра, сприяє більш рівномірному набухання крохмалю та частковій денатурації білків, що формують еластичний каркас ендосперму. При тривалості

пропарювання 360 с при вологості 20 % вихід плющеного ядра під тиском 0,20 МПа становить 92,1 %, тоді як при 0,15 МПа максимум досягає 90,8 %. Різниця у 1,3–1,5 % демонструє, що підвищення тиску пари дозволяє досягти більшої однорідності структурно-механічних властивостей ядра за тих самих умов вологості та часу обробки.

Підвищення вологості до 22 % при тривалості пропарювання 180 с і тиску 0,20 МПа забезпечує вихід плющеного ядра 91,4 %, а за 360 с – 94,8 %. Для порівняння, при 0,15 МПа за тривалості 180 с вихід досягає 89,7 %, а при 360 с – 93,5 %. Це вказує на комбінований ефект підвищеної вологості та більш інтенсивного пропарювання: крохмально-білкова матриця стає більш однорідною, внутрішні напруження знижуються, крохмальні зерна набухають рівномірніше, а білок набуває достатньої еластичності для рівномірного розподілу механічного навантаження.

Максимальний вихід 96,0 % зафіксовано при вологості 24 % і тривалості пропарювання 360 с під тиском 0,20 МПа, тоді як при 0,15 МПа максимум становив 94,2 %. Це свідчить про те, що підвищений тиск не лише прискорює процеси тепломасообміну, а й дозволяє оптимально використовувати початкову вологість для формування пластичного і стійкого до подрібнення на етапі плющення ядра. За таких умов крохмаль набуває синхронно у всьому об'ємі ядра, а білкова матриця виконує роль еластичного каркаса, що мінімізує утворення дрібних часток і борошеня.

Пояснення ефекту впливу підвищеного тиску полягає у тому, що він збільшує температуру насиченої пари, що підвищує кінетичну енергію молекул води і прискорює дифузію води в глибокі шари ендосперму. Внаслідок цього зменшуються градієнти вологості і температури між поверхневими та внутрішніми шарами ядра, що забезпечує більш рівномірне набухання крохмалю та часткову денатурацію білків. Денатурація білків супроводжується зниженням модуля пружності матриці, що зменшує локальні концентрації напружень і ризик крихкого руйнування при плющенні.

Важливо також підкреслити роль початкової вологості як критичного параметра: за низької вологості, навіть при підвищеному тиску, внутрішні шари ядра не досягають оптимальної пластичності, що обмежує ефективність плющення. Зі збільшенням вологості до 22–24 % внутрішні шари швидко набувають необхідної пластичності, що разом із підвищеним тиском пари дозволяє досягти максимальної ефективності процесу.

Порівняльний аналіз результатів для 0,15 і 0,20 МПа демонструє систематичне зростання виходу плющеного ядра при підвищеному тиску, особливо за середньої та високої початкової вологості. Це підтверджує, що тиск пари є одним із ключових технологічних чинників, який інтенсифікує тепломасообмін, сприяє однорідності набухання крохмалю і частковій денатурації білка, а також забезпечує стабільний і високий вихід продукції.

Результати досліджень демонструють, що ефективність плющення ядра півчастої пшениці суттєво залежить від початкової вологості зерна, тривалості пропарювання та тиску пари. При тиску 0,15 МПа коротке пропарювання 180 с забезпечує вихід 81,8–91,1 %, тоді як збільшення обробки до 360 с підвищує його до 86,7–94,2 % за рахунок більш рівномірного набухання крохмалю та часткової денатурації білкової матриці. Попереднє зволоження зерна визначає проникнення води до внутрішніх шарів ендосперму, зменшуючи локальні концентрації механічних напружень і запобігаючи крихкому руйнуванню під час плющення. Підвищення тиску пари до 0,20 МПа прискорює тепломасообмін, забезпечує рівномірніше нагрівання і зволоження внутрішніх шарів ядра, що підвищує вихід продукції: при 18 % вологості та 360 с він досягає 88,9 %, а при 24 % вологості і тих самих умовах – 96,0 %. Найбільший ефект спостерігається за комбінації високої початкової вологості (22–24 %) і тривалого пропарювання, коли білкова матриця набуває еластичності, крохмаль рівномірно набухає, а ядро зберігає структурну цілісність. Отримані дані підкреслюють ключову роль контролю початкової вологості та оптимального режиму воднотеплової обробки для підвищення виходу плющеного ядра, зменшення утворення дрібних часток і забезпечення однорідності структурно-механічних властивостей зерна. Однак необхідно звернути увагу, що у дослідженнях використовували в якості сировини лущене і шліфоване ядро спельти і у перерахунку на необроблене зерно вихід плющеного ядра буде зменшуватися ще на 15–20 % від отриманих результатів.

Список літератури

1. Dvorak, J., Deal, K. R., Luo, M. C., You, F. M., von Borstel, K., & Dehghani, H. (2012). The origin of spelt and free-threshing hexaploid wheat. *Journal of Heredity*, 103(3), 426–441.
2. Scott, M. F., Botigué, L. R., Brace, S., Stevens, C. J., Mullin, V. E., Stevenson, A., ... & Mott, R. (2019). A 3,000-year-old Egyptian emmer wheat genome reveals dispersal and domestication history. *Nature plants*, 5(11), 1120–1128.
3. Fujita, A., Simsek, S., & Schwarz, P. B. (2020). Observations on the malting of ancient wheats: Einkorn, emmer and spelt. *Fermentation*, 6(4), 125.
4. Gustafson, P., Raskina, O., Ma, X., & Nevo, E. (2009). Wheat evolution, domestication, and

improvement. *Wheat science and trade*, 3-30.

5. Kulathunga, J., Reuhs, B. L., Zwinger, S., & Simsek, S. (2021). Comparative study on kernel quality and chemical composition of ancient and modern wheat species: Einkorn, emmer, spelt and hard red spring wheat. *Foods*, 10(4), 761.
6. Longin, C. F. H., Ziegler, J., Schweiggert, R., Koehler, P., Carle, R., & Würschum, T. (2016). Comparative study of hulled (einkorn, emmer, and spelt) and naked wheats (durum and bread wheat): Agronomic performance and quality traits. *Crop Science*, 56(1), 302-311.
7. Giuliani, A., Karagöz, A., & Zencirci, N. (2009). Emmer (*Triticum dicoccon*) production and market potential in marginal mountainous areas of Turkey. *Mountain Research and Development*, 29(3), 220-229.
8. Škrobot, D., Dapčević-Hadnadev, T., Tomić, J., Maravić, N., Popović, N., & Jovanov, P. Techno-functional performance of emmer, spelt and khorasan in spontaneously fermented sourdough bread. *Foods*. 2022; 11 (23).
9. Giménez, M. J., Gil-Humanes, J., Alvarez, J. B., & Barro, F. (2015). Cereals Taxonomy: The Role of Domestication and Breeding on Gluten Intolerance. *Advances in the Understanding of Gluten related Pathology and the Evolution of Gluten-Free Foods*, 493.
10. Cubadda, R., & Marconi, E. (2002). Spelt wheat. In *Pseudocereals and less common cereals: grain properties and utilization potential* (pp. 153-175). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
11. Giuliani, A., Karagöz, A., & Zencirci, N. (2009). Emmer (*Triticum dicoccon*) production and market potential in marginal mountainous areas
12. Mefleh, M., Conte, P., Fadda, C., Giunta, F., Piga, A., Hassoun, G., & Motzo, R. (2019). From ancient to old and modern durum wheat varieties: Interaction among cultivar traits, management, and technological quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), 2059-2067.
13. Ranhotra, G. S., Gelroth, J. A., Glaser, B. K., & Lorenz, K. J. (1995). Baking and nutritional qualities of a spelt wheat sample. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 118-122.
14. Biel, W., Jaroszewska, A., Stankowski, S., Sobolewska, M., & Kępińska-Pacelik, J. (2021). Comparison of yield, chemical composition and farinograph properties of common and ancient wheat grains. *European Food Research and Technology*, 247(6), 1525-1538.
15. Šramková, Z., Gregová, E., & Šturdík, E. (2009). Chemical composition and nutritional quality of wheat grain. *Acta chimica slovac*, 2(1), 115-138.
16. Ruibal-Mendieta, N. L., Rozenberg, R., Delacroix, D. L., Petitjean, G., Dekeyser, A., Baccelli, C., ... & Quetin-Leclercq, J. (2004). Spelt (*Triticum spelta* L.) and winter wheat (*Triticum aestivum* L.) wholemeals have similar sterol profiles, as determined by quantitative liquid chromatography and mass spectrometry analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(15), 4802-4807.
17. Čurná, V., & Lacko-Bartošová, M. (2017). Chemical composition and nutritional value of emmer wheat (*Triticum dicoccon* schrank): A review. *Journal of Central European Agriculture*.
18. Моргун, В. В., Січкач, С. М., Починок, В. М., Нінісва, А. К., & Чугункова, Т. В. (2016). Характеристика колекційних зразків спельти (*Triticum spelta* L.) за елементами структури продуктивності та хлібопекарською якістю. *Фізіологія рослин і генетика*, (48, № 2), 112-119.
19. Ружицька, О. М., & Борисова, О. В. (2018). Насіннева продуктивність і біохімічний склад зерна озимої спельти та полби за умов півдня степової зони України. *Фізіологія рослин і генетика*, (50, № 2), 161-169.
20. Станкевич, Г. М., Кац, А. К., Васильєв, С. В., & Папук, Н. В. (2018). Дослідження гігроскопічних властивостей спельти.
21. Рибалка, О. І., Поліщук, С. С., Червоніс, М. В., Моргун, В. В., & Моргун, Б. В. (2024). Унікальна пшениця спельта (*Triticum aestivum* ssp. *spelta* L.) з темно-фіолетовим зерном. *Фізіологія рослин і генетика*, (56, № 5), 419-430.
22. Любич, В. В., & Назарук, С. С. ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ ПОЛБИ. РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ, 17.
23. Reiestr sortiv roslyn prydatnykh dlia poshyrennia na terytorii Ukrainy [Elektronnyi resurs]: <https://minagro.gov.ua/file-storage/reiestr-sortiv-roslyn>
24. Perelik sortiv PSHENYTSYA SPÉLTA [Internet] Available from: <https://agrarii-razom.com.ua/list-culture-varieties?culture=1406>
25. Opys ta kharakterystyka roslyny PSHENYTSYA POLBA ZVYCHAYNA [Internet] Available from: <https://agrarii-razom.com.ua/plants/pshenicya-polba-zvychayna>
26. Liubych VV, Novikov VV, Voziiian VV. Sposib vyrobnytstva krupy z pshenytsi spelty №1 i podribenykh iz pshenytsi spelty №1, 2, 3.
27. Sots SM, Kustov IO, Zhygunov DO, Zhara MV. Pat. na korysnu model 106438 Ukraina, MPK (2016.01) B02B 3/00, B07B 1/00. Sposib vyrobnytstva krup z polby. № u2015 10651; zayavl. 02.11.2015; opubl. 25.04.2016, Byul. №8.

28. Sots SM, Kustov IO, Zhygunov DO, Zhara MV. Pat. na korysnu model 104665 Ukraina, MPK A23L 7/10, A23L 7/143. Sposib vyrobnytstva plastytsiv z polby. № u2015 07975; zayavl. 10.08.2015; opubl. 10.02.2016, Byul. №3.

FEATURES OF THE PRODUCTION OF FLAKED GROATS FROM HULLED WHEATS

**S. Sots, PhD of Technical Science, Associate Professor, O. Donii, post graduate student,
Department of technology of grain products, bread and confectionery products
Odesa National University of Technology, 112, Kanatna Str., Odesa, 65039, Ukraine**

Abstract. Contemporary cultivation of emmer and spelt wheat in Ukraine is niche-oriented and characterized by limited but stable production volumes. The predominant share of production belongs to emmer wheat (60–65%), while spelt accounts for 35–40%. The main cultivation regions are Poltava, Cherkasy, Kirovohrad, and Vinnytsia oblasts. The total annual production of groats from emmer wheat is estimated at 12–15 thousand tonnes, while that from spelt amounts to 6–8 thousand tonnes; whole-kernel groats constitute the core of the product assortment. Flakes, cereal flour, muesli, cereal bars, and breakfast cereals form a niche segment of products with increased nutritional value, in which emmer wheat is used as the base raw material, whereas spelt provides specific sensory and biochemical properties. Breeding activities in Ukraine are conducted systematically and include the development of emmer wheat cultivars (Antares, Holikovska, Romanivska, Yunika) and spelt cultivars (Vyshyvanka Bilotserkivska, Evrika, Zoria Ukrainy, Yevropa), oriented toward stable yield performance, adaptation to diverse soil and climatic conditions, and technological suitability of grain for the production of groats, flour, and specialized food products. The integration of foreign cultivars contributes to the expansion of the genetic base and enables comparative evaluation of plant potential under national conditions. The technological specificity of hulled wheat forms necessitates the development of regulations and standards defining acceptable ranges of grain quality indicators. The absence of clearly defined regulatory documents complicates the prediction of product quality and the stability of groats and flour yields, thereby creating the need for a scientifically substantiated approach to processing these crops at the national scale. The effect of hydrothermal treatment regimes of whole spelt kernels on the yield of flaked kernels was investigated depending on initial moisture content, steam pressure, and steaming duration. At a steam pressure of 0.15 MPa and a steaming duration of 180 s, the yield of flaked kernels ranged from 81.8% at an initial moisture content of 18% to 91.1% at 24%. Increasing the steaming duration to 360 s raised the yield to 86.7–94.2%, depending on initial moisture content. At a steam pressure of 0.20 MPa, increased process efficiency was observed. At an initial moisture content of 18% and a steaming duration of 180 s, the yield reached 84.6%, while at 360 s it increased to 88.9%, exceeding the corresponding values obtained at 0.15 MPa (81.8% and 86.7%). Elevated pressure accelerates heat and moisture penetration, promotes partial protein denaturation, and ensures more uniform starch swelling, which is critical for the development of plastic properties of the kernel. At an initial moisture content of 20%, flaking efficiency at 0.20 MPa and 180 s provided a yield of 88.3%, and at 360 s, 92.1%, whereas at 0.15 MPa the yields were 86.2% and 90.8%, respectively. For a moisture content of 22%, the yield of flaked kernels at 0.20 MPa increased from 91.4% at 180 s to 94.8% at 360 s, while at 0.15 MPa it amounted to 89.7% and 93.5%, respectively. The maximum yield of 96.0% was observed at a moisture content of 24% and a steaming duration of 360 s under a pressure of 0.20 MPa, whereas at 0.15 MPa under the same conditions it remained at 94.2%.

Keywords: emmer wheat, spelt wheat, chemical composition, cereal products, technological properties, flaked products, steaming regimes, flaked kernel yield.

Отримано в редакцію 04.09.2025
Прийнято до друку 17.09.2025
Розміщено в інтернеті 29.12.2025

Received 04.09.2025
Approved 17.09.2025
Available in Internet 29.12.2025