УДК 633.16:664.788
DOI: 10.15673/swonaft.v89i2.3411

ПЛІВЧАСТИЙ ЯЧМІНЬ – ЦІННА СИРОВИНА ДЛЯ СУЧАСНОГО КРУПЯНОГО ВИРОБНИЦТВА

[1]І.О. Кустов, канд. техн. наук, доцент, [2]О.І. Доній, аспірант
Одеський національний технологічний університет, м. Одеса, Україна

ORCID: [1] https://orcid.org/0000-0001-7632-1626; [2]https://orcid.org/0009-0007-6848-9163
E-mail: [1] i.kustov1988@gmail.com, [2]doniioleh@gmail.com

Copyring © 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. *В статті обґрунтовано доцільність використання плівчастого ячменю як сировини для сучасного круп'яного виробництва з урахуванням його хімічного складу, фізико-технологічних властивостей зерна, особливостей сортового складу та існуючих технологій переробки. Показано, що плівчастий ячмінь, попри переважання кормового та солодового напрямів використання, має значний потенціал для виробництва круп'яної продукції, однак реалізація цього потенціалу стримується низькою ефективністю традиційних технологічних схем і обмеженим асортиментом готових продуктів.*

Проаналізовано хімічний склад зерна плівчастого ячменю, який визначає його поживну та технологічну цінність. Встановлено, що основною складовою зерна є вуглеводи, частка яких становить в середньому 65–75 %, при цьому крохмаль займає 55–65 % сухої речовини. Особливістю крохмалю ячменю є дрібнозерниста структура з розміром гранул від 2 до 25 мкм та співвідношенням амілози й амілопектину на рівні 1:3–1:4, що відповідає вмісту амілози 20–28 %. Така будова зумовлює помірну температуру клейстеризації та високу в'язкість крохмальних систем, що має значення як для солодових процесів, так і для круп'яної переробки. Значну роль у формуванні технологічних властивостей відіграють β-глюкани, вміст яких у плівчастих формах становить у середньому 3–7 %. Їх присутність підвищує в'язкість водних систем і впливає на процеси лущення, шліфування та воднотеплової обробки, а також визначає функціональну цінність продуктів переробки.

Білковий комплекс плівчастого ячменю характеризується вмістом білка на рівні 9–13 %. Основну частку становлять проламіни (35–45 %) і глютеліни (до 30 %), тоді як альбуміни і глобуліни формують 20–30 % загальної маси білка. Незважаючи на відносно низьку біологічну повноцінність через дефіцит лізину, метіоніну та треоніну, білки ячменю мають хорошу засвоюваність і технологічну придатність. Ліпідна фракція зерна становить 2–3 % і представлена переважно ненасиченими жирними кислотами, зокрема лінолевою до 45 % і олеїновою до 30 %, що підвищує біологічну цінність, але знижує стабільність при зберіганні. Вміст клітковини у плівчастому ячмені сягає 5–10 %, зольність становить 2–3 %, а мінеральний склад характеризується високою часткою калію до 500 мг/100 г, фосфору до 400 мг/100 г і магнію до 130 мг/100 г, що є важливим для харчового використання зерна.

В статті охарактеризовано фізико-технологічні властивості зерна плівчастого ячменю. Довжина зерна становить 8–10 мм, ширина 2,5–3,5 мм, товщина 2,0–2,5 мм, співвідношення довжини до ширини перевищує 2,5. Натура зерна є відносно низькою і коливається в межах 580–640 г/л, маса 1000 зерен становить 35–45 г. Плівчастість зерна досягає 8–13 %, а в окремих випадках до 15 %, що зумовлює підвищений вміст оболонок і знижений вихід ядра. Ендосперм плівчастого ячменю переважно борошнистий або напівскловидний, що полегшує водопоглинання, але водночас сприяє утворенню дрібної фракції при обробці.

Проаналізовано вимоги ДСТУ 3769-98 до зерна ячменю різного призначення та показано, що для продовольчого і круп'яного використання вирішальне значення мають показники вологості не вище 14,5–15,5 %, натури не нижче 570–600 г/л, обмежений вміст смітної та зернової домішок, а також відсутність фузаріозних зерен і зараженості шкідниками. Підкреслено, що більшість сучасних сортів ячменю, представлених у Реєстрі сортів рослин України, орієнтовані переважно на зерновий або пивоварний напрям використання, тоді як класифікація для виробництва круп практично відсутня. Це зумовлює необхідність додаткових досліджень технологічних властивостей сучасних плівчастих сортів

з метою їх адаптації до вимог круп'яної галузі.

Окрему увагу приділено аналізу існуючої технології переробки ячменю в крупу перлову та ячну. Показано, що традиційна схема передбачає багатоступеневе лущення, шліфування, полірування і сортування, що включає до 4 лущильних, 3 шліфувальних, 3 полірувальних та до 5 сортувальних систем. Така складність процесу зумовлює високі втрати ядра, значну кількість побічних продуктів і низький вихід готової крупи, який у більшості випадків не перевищує 50 %. Встановлено, що енерговитрати на переробку становлять до 60–80 кВт·год на 1 т зерна, що суттєво підвищує собівартість продукції та ускладнює роботу підприємств невеликої потужності, особливо в умовах нестабільного енергопостачання.

Ключові слова: плівчастий ячмінь, хімічний склад зерна, технологічні властивості, β-глюкани, круп'яне виробництво, лущення, шліфування, перлова крупа, вихід крупи, енерговитрати.

Історія вирощування та споживання ячменю є однією з найдавніших у землеробстві людства, що простежується з періоду неолітичної революції, коли людина почала переходити від збиральництва до осілого землеробства. Археологічні свідчення підтверджують, що ячмінь (Hordeum vulgare L.) був однією з перших культур, які людина свідомо почала вирощувати ще близько 10–12 тисяч років тому в межах «родючого півмісяця», що охоплював території сучасних Іраку, Сирії, Ірану, Туреччини та Палестини. Саме тут первісні форми ячменю, були поступово одомашнені внаслідок відбору більш урожайних і менш крихких колосків. Це поклало початок формуванню культурних різновидів, які стали основою подальшого розвитку землеробства. На ранніх етапах розвитку аграрної культури ячмінь мав виключно продовольче значення. Його зерно використовували у вигляді каш, випікали з нього хліб, часто змішуючи з іншими зерновими культурами. Проте через низький вміст клейковини у борошні ячмінь поступово був витіснений пшеницею як основною хлібною культурою. Незважаючи на це, ячмінь зберіг важливе місце в харчуванні давніх цивілізацій. У Стародавньому Єгипті його вирощували поряд із полбою і застосовували не лише для випікання хліба, а й для виготовлення пива, що мало значення у релігійних обрядах і повсякденному житті. У Месопотамії пиво з ячменю було основним напоєм, а записи на клинописних табличках засвідчують його важливу роль у господарстві та соціальній системі. У Стародавній Греції і Римі ячмінь використовувався як основна складова раціону простих людей і солдатів, що свідчить про його поживну цінність і доступність. Греки виготовляли з нього страву під назвою «маза» – різновид густої каші, яку вживали з оливковою олією або вином. Римляни ж використовували ячмінь у приготуванні каші «pulmentum» та інших продуктів, що забезпечували енергію під час тривалих походів. Поширення ячменю на північ і захід Євразії відбулося поступово. Його невибагливість до ґрунтово-кліматичних умов дала змогу культурі адаптуватися до ширшого діапазону природних зон, ніж більшість інших зернових. У Європі ячмінь почали вирощувати приблизно 5000 років тому, про що свідчать археоботанічні знахідки у Центральній і Північній Європі. Особливо важливим він став у регіонах із коротким вегетаційним періодом, зокрема у Скандинавії, Шотландії та на території сучасної України, де він забезпечував стабільний урожай навіть в роки несприятливих погодних умов. У цих зонах він набув значення основної культури не лише продовольчого, а й кормового та технічного призначення. З розвитком цивілізацій ячмінь набував нових напрямів використання. У середньовіччі він залишався одним із головних продуктів харчування європейського населення, особливо серед нижчих верств. Його застосування для виробництва пива стало системним і набуло великого промислового значення в епоху середньовічних монастирських пивоварень. Саме тоді почала формуватися технологія солодового виробництва, заснована на контрольованому пророщуванні ячменю, що згодом стало основою для сучасної пивоварної промисловості. У цьому контексті ячмінь став не лише харчовою культурою, а й технологічною сировиною, для якої почали виводити спеціальні сорти з підвищеним вмістом ферментів і сприятливою структурою крохмалю. В Азії, особливо в Китаї та на Тибетському нагір'ї, ячмінь також відіграв важливу роль у продовольчій системі. У Тибеті з нього виготовляють традиційну страву цампу – борошно з обсмаженого зерна, яке є основою раціону населення високогірних районів. У Китаї ячмінь використовували для приготування каш, а також як компонент у традиційних напоях і лікарських засобах. У Південній Азії культура поширилася в посушливих зонах, де пшениця давала нестабільні врожаї, зокрема в Афганістані, Пакистані та Ірані. Тут ячмінь мав важливе кормове значення і використовувався для годівлі худоби, особливо в зимовий період. Починаючи з XVI–XVII століть, із розвитком морських перевезень та колонізації ячмінь був завезений до Америки, Австралії та Південної Африки. На нових континентах культура швидко адаптувалася до різних кліматичних зон, зберігаючи статус невибагливої та продуктивної рослини. У північних регіонах Америки, зокрема в Канаді, ячмінь став важливою культурою для виробництва солоду і кормів, а в Австралії – для пивоваріння та експорту [1-4].

В Україні ячмінь має давню історію вирощування, що сягає ще часів трипільської культури. Протягом століть він займав важливе місце в структурі посівів завдяки своїй скоростиглості, стійкості до вилягання і можливості вирощування в різних ґрунтово-кліматичних умовах. У традиційній українській

господарській культурі ячмінь використовувався для приготування каш, круп, а також для виготовлення хліба в поєднанні з житнім або пшеничним борошном.

У XX столітті, в умовах індустріалізації сільського господарства, ячмінь став однією з провідних культур у світовому зерновому балансі. Його частка у структурі зернових площ значно зросла внаслідок попиту на концентровані корми для тваринництва. Технологічні властивості зерна дозволили використовувати його у виробництві комбікормів, спирту та пивоварного солоду. Водночас розширення селекційних програм сприяло формуванню сортів з високою адаптивністю до різних регіонів, що забезпечило стабільність виробництва навіть за змін клімату. Сучасне світове виробництво ячменю зосереджене переважно в країнах Європи, Північної Америки, Австралії. Культура залишається однією з найбільш універсальних зернових, поєднуючи продовольчі, кормові та технічні напрями використання [5-8].

Світове виробництво ячменю за останні роки зберігається на рівні близько 145–150 млн тонн. Найбільші обсяги вирощування ячменю зосереджені в Європі, на частку якої припадає 30–35 % світового виробництва. Країни Азійсько-Тихоокеанського регіону забезпечують 28 % загального обсягу, тоді як Північна Америка формує орієнтовно п’яту частину світового виробництва. Решта регіонів світу разом дають приблизно 17 % валового збору ячменю.

В межах Європейського Союзу середній сумарний обсяг становить до 50 млн тонн, з яких 12 млн тонн виробляє Франція, 11 млн тонн – Німеччина, 8 млн тонн – Іспанія, 7 млн тонн – Великобританія, 4,5 млн тонн – Данія, 3,5 млн тонн – Польща, 2,8 млн тонн – Фінляндія, близько 2,5 млн тонн – Угорщина та Чехія, решта припадає на інші країни союзу. Це забезпечує ЄС стабільне лідерство у світовому виробництві та значну частку експорту.

В Азії найбільші обсяги ячменю зосереджені у Туреччині – близько 8,8 млн тонн, Ірані – близько 3,2 млн тонн, Китаї – 2,5 млн тонн, Казахстані – 2,3 млн тонн, Індії – 1,6 млн тонн, Монголії – близько 0,5 млн тонн. Сукупне азійське виробництво перевищує 20 млн тонн, що відповідає приблизно 14 % світового балансу. В цьому регіоні ячмінь має переважно кормове й продовольче призначення, а його вирощування зосереджене в умовах континентального і посушливого клімату.

В країнах Північної Америки провідна роль належить Канаді, яка виробляє близько 10 млн тонн ячменю на рік. Сполучені Штати Америки виробляють близько 3,8 млн тонн, що становить незначну, але стабільну частку загального обсягу, орієнтовану переважно на потреби пивоваріння і кормової галузі. Сумарне виробництво Північної Америки сягає близько 14 млн тонн.

Південна Америка представлена передусім Аргентиною, яка стабільно виробляє від 5 до 5,5 млн тонн ячменю, з яких значна частина експортується. Інші країни континенту мають незначні обсяги – у межах кількох сотень тисяч тонн, тому їхній вплив на світовий баланс є мінімальним.

В Австралії виробництво ячменю є одним із найбільших у світі й коливається від 12 до 14 млн тонн залежно від року. Близько половини цього обсягу спрямовується на експорт, що робить країну провідним світовим експортером.

В Африці ячмінь вирощується переважно у північних країнах, серед яких провідне місце посідає Марокко з показником близько 1,7 млн тонн, Алжир із близько 1,5 млн тонн та Ефіопія з близько 1,2 млн тонн. Сукупне виробництво континенту не перевищує 6 млн тонн, але культура має важливе продовольче значення у посушливих регіонах.

У світовому балансі ячменю приблизно дві третини його врожаю спрямовуються на кормові потреби тваринництва, причому оцінки коливаються в межах 68–70% від загального виробництва. Частка сировини, що використовується на виробництво солоду для пивоваріння та спиртової промисловості, становить орієнтовно 25–30% світового врожаю; у межах цієї частки переважна більшість, близько 85–95%, використовується для пивоварного або дистиляторного солоду, решта – для спеціальних харчових або технічних цілей. Частка ячменю, що напряму використовується у вигляді круп, пластівців, борошна та інших харчових продуктів (окрім солоду), є невеликою і оцінюється в межах 2–5% від усього виробництва. Ця кількість охоплює традиційне місцеве споживання у вигляді каш, хлібних замінників та зростаючу частку функціональних продуктів, у складі яких цінуються розчинні харчові волокна, зокрема β-глюкани. Загальний обсяг еспорту ячменю упродовж останніх років коливався в межах 30–40 млн тонн на рік, що відповідає приблизно 20–28% від загального річного виробництва [9-11].

В світовому масштабі ячмінь залишається культурою універсального призначення, проте в останні десятиліття його роль у харчуванні людини трансформується з традиційного зернового продукту у високотехнологічну сировину для переробки, зокрема у пивоварній, солодовій, хлібопекарській та функціональній галузях.

В країнах Європи ячмінь використовується переважно для виробництва солоду, який є основною сировиною для пивоварної промисловості. Частка ячменю, що переробляється у солод, сягає понад половини всього врожаю, особливо у Франції, Німеччині, Великобританії, Данії та Польщі. Високі вимоги

до якості зерна для солодових цілей обумовили розвиток спеціалізованих сортів із підвищеним вмістом крохмалю і низьким білковим рівнем. Крім пивоваріння, у Європейському Союзі зростає інтерес до використання ячмінного борошна як інгредієнта для змішаних хлібів і функціональних продуктів, збагачених β-глюканами. Деякі країни, зокрема Фінляндія, активно розвивають виробництво ячмінних пластівців, каш та харчових концентратів для дитячого і дієтичного харчування.

В азійському регіоні структура споживання ячменю істотно відрізняється. В Туреччині, Ірані, Китаї та Індії ячмінь історично має продовольче значення, особливо у гірських і посушливих районах, де пшениця дає менші врожаї. В Туреччині та Ірані ячмінь використовується у вигляді круп, каш та традиційних страв, а також для виготовлення місцевих напоїв і безалкогольного солоду. В Китаї його застосовують як добавку до пшеничного борошна при випіканні, а в окремих провінціях виробляють ячмінні локшини. Хоча промислове використання ячменю в Азії менш розвинене, ніж у Європі, воно зберігає культурну і харчову значущість. В останні роки в Китаї та Японії зростає інтерес до функціональних харчових продуктів на основі ячменю, який містить β-глюкани, які мають позитивний вплив на рівень холестерину.

В країнах Північної Америки, зокрема в Канаді та США, переважає використання ячменю у пивоварній промисловості. Близько третини врожаю спрямовується на виробництво солоду, який використовується не лише для пива, а й у виробництві спиртів і харчових екстрактів. У Канаді активно розвивається сектор функціональних харчових продуктів, де ячмінь використовується як джерело розчинних волокон. Ячмінне борошно входить до складу зернових сумішей для хлібопекарної галузі, а крупа застосовується для виробництва каш швидкого приготування. В США ячмінь використовується в обмежених обсягах у харчовій промисловості, але розробки у сфері біотехнологій стимулюють створення продуктів з покращеним амінокислотним складом, призначених для клінічного та дієтичного харчування.

В Південній Америці основним напрямом харчового використання ячменю є виробництво солоду для пивоваріння, що концентрується переважно в Аргентині, Уругваї та Чилі. Ці країни орієнтовані на експорт пивоварного солоду до країн Латинської Америки. Водночас у регіоні зберігається традиційне використання ячмінної крупи в харчуванні, особливо в Андських районах. В Аргентині розвивається виробництво харчових концентратів і напоїв на основі ячмінного екстракту, що знаходить застосування у промисловому виробництві безалкогольних напоїв і кавозамінників.

Австралія, маючи один із найбільших світових врожаїв ячменю, використовує його переважно для експорту, проте частина врожаю переробляється всередині країни для виробництва солоду і пива. Частка продовольчого використання відносно невелика, але в останні роки зростає інтерес до продуктів здорового харчування, зокрема ячмінного борошна, пластівців і макаронних виробів. Розвиток австралійської харчової промисловості поступово розширює асортимент ячмінних продуктів внутрішнього ринку, орієнтуючись на дієтичні продукти.

В Африці ячмінь використовується як продовольча культура переважно в північних країнах – Марокко, Алжирі, Ефіопії. Тут він служить основою для приготування каш, хлібців та напоїв, часто у поєднанні з іншими зерновими. В Ефіопії ячмінь має давню традицію вирощування і використовується для приготування інджери – національного виду хліба, а також ферментованих страв і місцевих алкогольних напоїв. В Північній Африці ячмінь слугує альтернативною сировиною для виготовлення хліба в роки неврожаю пшениці. Хоча промислове використання залишається обмеженим, ця культура зберігає харчову цінність у структурі раціону населення посушливих регіонів [12-15].

Хімічний склад плівчастого ячменю характеризується значною різноманітністю, що визначає його поживну, технологічну та функціональну цінність. Основною складовою зерна є вуглеводи, зокрема крохмаль, який становить у середньому 55–65% сухої речовини. Крохмаль ячменю має особливу структуру: зерна крохмалю дрібні, з діаметром від 2 до 25 мікрометрів. У структурі крохмалю переважає амілопектин, співвідношення амілози до амілопектину коливається від 1:3 до 1:4, тобто амілози міститься близько 20–28%. Ця особливість зумовлює помірну клейстеризаційну температуру, високу в'язкість пасти та добрі властивості для ферментаційних процесів, що робить плівчастий ячмінь важливою сировиною для виробництва солоду. Цукри в плівчастому ячмені представлені переважно мальтозою, глюкозою, фруктозою і сахарозою. Загальний вміст цукрів коливається в межах 1,5–2,5% сухої речовини. Особливу роль у складі вуглеводного комплексу відіграють β-глюкани – водорозчинні полісахариди клітинних стінок ендосперму. Їхній вміст у плівчастих формах ячменю становить в середньому 3–7%, залежно від сорту та умов вирощування. Молекули β-глюканів побудовані з залишків глюкози, з'єднаних β-1,3- і β-1,4-глікозидними зв'язками, що забезпечує їхню часткову розчинність у воді. Ці сполуки впливають на в'язкість водно-крохмальних систем, мають виражений фізіологічний ефект – знижують рівень холестерину в крові та регулюють глікемічну відповідь організму. У технологічному аспекті β-глюкани є важливими показниками якості пивоварного ячменю, оскільки їхній надлишок у солоді може ускладнювати фільтрацію сусла. Вміст білка у плівчастому ячмені становить в середньому 9–13 %. Білковий комплекс має складну структуру і включає чотири основні фракції: альбуміни, глобуліни,

проламіни (гордеїни) і глютеліни. Найбільшу частку становлять проламіни, на які припадає близько 35–45% загального білка, а також глютеліни – до 30%. Альбуміни та глобуліни разом становлять 20–30% білкової маси і є більш біологічно повноцінними, оскільки містять більшу кількість незамінних амінокислот. Гордеїни, що переважають у білковому складі ендосперму, є спирторозчинними білками і мають низький вміст лізину, метіоніну та треоніну, але високий вміст проліну і глутамінової кислоти. Внаслідок цього білок ячменю є недостатньо збалансованим за амінокислотним складом, хоча він має задовільну засвоюваність і технологічну придатність для ферментаційних і харчових процесів. Загальний вміст незамінних амінокислот у білках плівчастого ячменю становить приблизно 35–40% від загального вмісту амінокислот, при цьому переважають глутамінова кислота, пролін, аспарагінова кислота, лейцин, ізолейцин і валін. Жирова фракція зерна ячменю незначна і становить 2–3% сухої речовини. Ліпіди зосереджені переважно в зародку і алейроновому шарі. Основними складовими є тригліцериди, фосфоліпіди та стероли. У жирнокислотному складі переважають ненасичені кислоти, зокрема лінолева (до 45%), олеїнова (до 30%) та ліноленова (до 3–5%), тоді як насичені кислоти, представлені пальмітиновою та стеариновою, становлять близько 20% від загального складу. Такий баланс забезпечує добру біологічну цінність жиру, але знижує його стабільність при зберіганні через схильність до окиснення. Вміст фосфоліпідів у плівчастому ячмені сягає 0,7–1,0%, що має значення для ферментаційних процесів, адже фосфоліпіди впливають на активність дріжджів у пивоварінні. Плівчастий ячмінь містить значну кількість клітковини – 5–10%. Більшість клітковини зосереджена в оболонках і алейроновому шарі. Зольність плівчастого ячменю становить 2–3%, що свідчить про значний вміст мінеральних елементів. Серед макроелементів переважають калій (до 500 мг/100 г), фосфор (до 400 мг/100 г) і магній (до 130 мг/100 г). Кальцій, натрій та сірка наявні у менших кількостях, але відіграють важливу роль у ферментативних процесах при пророщуванні. Із мікроелементів найбільше заліза (до 4 мг/100 г), цинку (до 3 мг/100 г), міді, марганцю і селену, які впливають на активність ферментів та антиоксидантні властивості зерна. У складі вітамінів у плівчастому ячмені переважають вітаміни групи В, які зосереджені переважно у зовнішніх шарах зерна та зародку. Вміст тіаміну (В1) становить близько 0,4 мг/100 г, рибофлавіну (В2) – 0,1 мг/100 г, ніацину (В3) – 4–5 мг/100 г, піридоксину (В6) – 0,3–0,5 мг/100 г, фолієвої кислоти – до 0,04 мг/100 г. Також наявні токофероли (вітамін Е) у кількості 1,5–2,5 мг/100 г, що забезпечує антиоксидантний захист ліпідів [16-20].

За геометричними характеристиками зерна плівчастий ячмінь має видовженішу форму з відносно гострими кінцями та більшою варіабельністю розмірів, що зумовлено як генетичними особливостями сорту, так і умовами вирощування. Довжина зерна плівчастих форм зазвичай коливається в межах 8–10 мм, ширина – 2,5–3,5 мм, товщина – 2,0–2,5 мм. Співвідношення довжини до ширини у плівчастих сортів перевищує 2,5. У плівчастих сортів натура зазвичай нижча – 580–640 г/л, оскільки значну частку об'єму займає квіткова оболонка, яка не має харчової цінності, але впливає на загальну об'ємну масу. Маса 1000 зерен є ще одним критерієм, який відображає ступінь виповненості і розмірність зерна. Для плівчастих сортів цей показник зазвичай становить 35–45 г. Зерно плівчастих сортів, через наявність жорстких і грубих оболонок, характеризується підвищеним вмістом клітковини і меншою ефективністю вилучення ядра при лущенні. Плівчастість є одним із визначальних показників технологічної якості ячменю, який відображає частку оболонок у загальній масі зерна. Для плівчастих сортів цей показник коливається в межах 8–13 %, у деяких випадках досягає 15 %. За крупністю та вирівняністю зерна плівчасті сорти зазвичай демонструють більшу неоднорідність. Це зумовлено різною щільністю та ступенем розвитку остюків, які впливають на процеси переробки. Розмірна однорідність зерна важлива при калібруванні та лущенні, оскільки різниця у розмірах призводить до нерівномірного впливу робочих органів машин і до збільшення частки побічного продукту. Скловидність зерна, є показником структурної організації крохмальних гранул і білкової матриці. У плівчастого ячменю ендосперм здебільшого борошнистий або напівскловидний, із пористою структурою, що добре поглинає воду, але може руйнуватися при механічній обробці, утворюючи надлишок дрібної фракції. Форма зерна також відіграє значну роль у визначенні технологічних властивостей. Плівчастий ячмінь має видовжене, дещо зігнуте зерно з вираженою борозенкою [16-21].

У відповідності до ДСТУ 3769-98 «Ячмінь. Технічні умови» [22], зерно ячменю, класифікується за окремими групами якості з чітко визначеними нормами показників. ДСТУ встановлює диференційовані вимоги до ячменю, призначеного для продовольчих цілей, для виробництва солоду у спиртовому виробництві, для кормових потреб, а також для пивоваріння (1 і 2 класів). Основними параметрами, за якими проводиться класифікація, є вологість, натура, маса 1000 зерен, вміст білка, кількість смітної та зернової домішок, фузаріозних і пошкоджених зерен, а також здатність до проростання, життєздатність і відсутність зараженості шкідниками.

Для ячменю продовольчого призначення встановлено вимоги до вологості не більше ніж 14,5% для першого класу і 15,5% для другого та третього класів. Натура зерна повинна бути не нижче 600 г/л для

першого класу і 570 г/л для другого. Колір має бути жовтим з природними відтінками, а запах – нормальний, без затхлості або сторонніх домішок. Вміст смітної домішки не повинен перевищувати 2% для першого класу, 3% – для другого і 5% – для третього. У складі смітної домішки мінеральна частина допускається до 0,3–1%, шкідлива – до 0,2%, включаючи ріжки, сажку, гірчак та інші токсичні компоненти у межах 0,05–0,1%. Кількість фузаріозних зерен не повинна перевищувати 1%, а зараженість шкідниками хлібних запасів забороняється, крім мінімальної наявності кліща (не вище 1 ступеня). Масова частка зернової домішки у продовольчому ячмені обмежена 7% для першого класу, 10% для другого і 15% для третього. При цьому загальна кількість пророслого або щуплого зерна не повинна перевищувати 2%. Дрібних зерен допускається до 5%. Ці вимоги спрямовані на забезпечення стабільної якості сировини для харчової промисловості, де високі показники натури і вирівняності безпосередньо впливають на вихід і якість круп'яної продукції.

Ячмінь, що використовується для виробництва солоду у спиртовому виробництві, має вологість не вище 15,5%, мінімальну масу 1000 зерен – 40 г для першого класу і 38 г для другого. Обмеження за вмістом білка є обов'язковими: для першого класу не більше 11%, для другого – не більше 11,5%. Зменшений білковий вміст забезпечує підвищену екстрактивність і кращу розчинність ендосперму під час солодового процесу. Кількість смітної домішки допускається в межах 1–2%, мінеральної – не більше 0,5%, фузаріозні зерна не допускаються, а зараженість шкідниками є неприпустимою. Кількість зернової домішки обмежується 2% для першого класу і 5% для другого. Крупність зерна, тобто частка зерен, що залишаються на ситі з отворами 2,5×20 мм, має бути не нижче 85% для першого класу і 70% для другого. Вимоги до проростання зерна є підвищеними, оскільки цей показник критично впливає на солодові властивості. Для першого класу мінімальна здатність до проростання повинна становити 95%, а для другого – не нижче 92%.

Кормовий ячмінь має менше обмежень. Його вологість допускається до 15,5%, натура не нормується, так само як і маса 1000 зерен, білковий склад чи крупність. Основна увага приділяється безпечності: зерно має бути здоровим, без стороннього запаху, без фузаріозного чи пліснявого ураження. Вміст смітної домішки може сягати 5%, а зернової – 15%, що допускається з огляду на подальше використання у складі комбікормів, де домішки не знижують кормову цінність, але можуть впливати на енергетичну цінність корму. Допустимий рівень фузаріозних зерен не перевищує 1%, а зараження шкідниками є неприпустимим.

Для пивоварного ячменю вимоги є найсуворішими. Для першого класу вологість не повинна перевищувати 14,5%, а для другого – 15%. Колір зерна має бути світло-жовтим або сірувато-жовтим, що свідчить про повне дозрівання і відсутність теплового чи мікробіологічного пошкодження. Мінімальна натура для першого класу становить 600 г/л, а для другого цей показник не нормується. Вміст білка для пивоварного ячменю не повинен перевищувати 11–11,5%, оскільки надлишок білкових речовин погіршує фільтрацію сусла і знижує прозорість пива. Вміст смітної домішки обмежується 1% для першого класу і 2% для другого. Не допускаються фузаріозні зерна, геліотроп, триходесма, а також інші токсичні рослинні домішки. Кількість зернової домішки має бути не більше 2% для першого класу і 5% для другого. Дрібні зерна допускаються в межах 5% для першого класу і 7% для другого. Здатність до проростання встановлена на рівні не нижче 95% і 92% відповідно, що гарантує формування повноцінного солоду з рівномірним розвитком корінців. Екстрактивність пивоварного ячменю – тобто кількість водорозчинних речовин, що переходять у сусло, – не менше 79% для першого класу і 77% для другого.

Мета роботи: обґрунтування доцільності та перспектив розширення асортименту харчових продуктів, з ячменю та вдосконалення технології його переробки.

Завдання:

- проаналізувати обсяги вирощування плівчастого ячменю в світі та в Україні, визначити сучасні тенденції;
- проаналізувати сорти ячменю які зареєстровані в Україні;
- визначити харчову та біологічну цінність плівчастого ячменю;
- проаналізувати існуючу технологію переробки плівчастого ячменю та надати її основні недоліки і визначити перспективи модернізації технології.

За останні роки в Україні вирощують від 5 до 6 млн тонн зерна ячменю. Переважає ярий ячмінь, частка якого становить понад 90% від загального обсягу виробництва. Основна маса зібраного зерна спрямовується на кормові цілі, що зумовлено високою поживною цінністю культури для тваринництва. За останні роки близько 55–60% від усього вирощуваного ячменю використовується у складі комбікормів або в чистому вигляді як концентрований корм, що забезпечує добру засвоюваність і високий рівень обмінної енергії. Орієнтовно 30–35%, експортується у вигляді зерна. Україна входить до числа світових лідерів із постачання ячменю, переважно до країн Північної Африки, Близького Сходу та Європейського Союзу. Решта частка, близько 5–7% від загального обсягу, використовується у продовольчих цілях, включаючи переробку в крупи, солод та інші харчові продукти. Частка зерна, що надходить безпосередньо на круп'яні

заводи, залишається незначною у структурі загального виробництва, однак має стабільну тенденцію до зростання у зв'язку з підвищенням інтересу до продуктів з високим вмістом харчових волокон і природних антиоксидантів.

В Реєстрі сортів рослин, придатних для поширення на території України [23], представлено значний масив сортів ячменю звичайного, що відображає сучасний стан і напрями розвитку селекції цієї культури. До Реєстру внесено загалом 176 сортів ячменю, які допущені до виробничого використання. Із цієї кількості 78 сортів належать до озимого ячменю, тоді як 98 сортів представлені ярими формами. Такий розподіл свідчить про високу увагу селекційних установ і компаній до ярого ячменю, який характеризується ширшою адаптивністю та різноманітнішими напрямами використання.

Озимі сорти ячменю в Реєстрі [23] переважно орієнтовані на зерновий напрям використання, що відповідає сучасним потребам агровиробництва у стабільних і продуктивних культурах. Ярий ячмінь, окрім зернового напряму, представлений також сортами пивоварного та комбінованого призначення, що підкреслює його технологічну гнучкість і важливість для переробної галузі. Окремо в Реєстрі [23] наведено 22 батьківські компоненти ячменю, які не використовуються у виробництві безпосередньо, але мають важливе значення для селекційної роботи та створення нових сортів.

Розглядаючи сорти озимого ячменю, можна відзначити значну кількість сортів, реєстрація яких охоплює період з 1987 по 2025 рік. Найдавнішим за роком внесення до реєстру є сорт Широколистий, зареєстрований у 1987 році, для якого чітко визначено кормовий напрям використання. Це свідчить про те, що на ранніх етапах селекційної роботи з озимим ячменем пріоритет надавався саме кормовим властивостям культури. Подібну спеціалізацію має і сорт Дністер, зареєстрований у 2002 році, який також орієнтований на кормове використання. Водночас сорт Луран, внесений до реєстру у 2000 році, уже належить до зернових, що відображає поступовий перехід селекції до створення сортів із підвищеною зерновою продуктивністю.

Починаючи з 2010 року, у структурі озимих сортів простежуються суттєві зміни. Переважна більшість сортів, зареєстрованих у цей і наступні періоди, мають зерновий напрям використання. У 2014 році до реєстру одночасно було внесено низку сортів, зокрема Атлант Миронівський, Казанова, Паладін Миронівський, Тітус, Хайді та Ханнелоре, які всі характеризуються саме зерновим призначенням. Це наочно демонструє зміну селекційних пріоритетів у бік отримання стабільних урожаїв зерна з високими господарсько цінними показниками.

І 2015–2017 роках відбувається подальше розширення сортового складу озимого ячменю за рахунок як вітчизняних, так і зарубіжних селекційних досягнень. У цей період до реєстру включено сорти Галатіон, Арканда, Вутан, Делікатессе, Каліфорнія, КВС Меридіан, КВС Тенор, МІП Гладіатор, МІП Оскар, МІП Ясон. Усі вони належать до зернового напряму використання, що ще раз підтверджує переважання саме цього напряму для сучасного озимого ячменю. Наявність у назвах позначень КВС, ЛГ, СИ свідчить про активну участь міжнародних селекційних компаній у формуванні сучасного сортового асортименту.

В період 2018–2021 років інтенсивність реєстрації нових озимих сортів зростає ще більше. У цей час з'являються такі сорти, як Ізоцель, Карміна, Люсьєн, Монро, САНІНГДЕЙЛ, МІП Дарій, МІП Статус, КВС Уоллес, КВС Флеммінг, ЛГ Зебра, ЛГ Кастінг, Ернеста, Еспріт, Віола, Демонсьєль, Якубус. Усі вони орієнтовані на зернове використання. Це дає підстави стверджувати, що сучасна селекція озимого ячменю практично повністю зосереджена на зерновому напрямі, тоді як кормові сорти зберігаються лише як поодинокі зразки попередніх селекційних етапів.

Починаючи з 2022 року, у реєстрі з'являється група нових озимих сортів, для яких напрям використання офіційно не зазначений. До цієї групи належать ЗУ Лоріель, Єкатеріна, Каріока, Бордо, Суец, СИ КІНГСТОН, Магнат, СИ ЛУНА, Тур, Флавія, Юлія, а також сорти, зареєстровані у 2024–2025 роках, зокрема ЗУ ЛЮСІ, Імператор, ПРЕНС, СИ ДАКОТА, СИ КАРУ, СУЛТАНІЄ. Відсутність чіткого зазначення напряму використання, імовірно, пов'язана з новизною цих сортів або з їх потенційно універсальним призначенням, яке ще не деталізоване.

Окрему частину наведених даних становлять батьківські компоненти озимого ячменю. Вони представлені лініями з умовними позначеннями МТ, РЕ, Ф1Ф та ФМ, які були зареєстровані переважно у 2015–2023 роках. Такі позиції, як МТ0526, МТ0767, МТ087873, РЕ15, РЕ17, РЕ18, РЕ21, Ф1Ф066, Ф1Ф077, ФМ0526, ФМ9737 та інші, не мають визначеного напряму використання, що є закономірним, оскільки ці матеріали не призначені для виробничого вирощування. Їх присутність у реєстраційних даних свідчить про активну та системну селекційну роботу зі створення вихідного матеріалу для подальшого виведення нових сортів озимого ячменю.

Ще більш масштабною є група ярого ячменю. Кількість зареєстрованих ярих сортів істотно перевищує кількість озимих, а часовий діапазон їх реєстрації охоплює період з 2004 по 2025 рік. Для ярого ячменю характерна значно більша різноманітність напрямів використання. Поряд із зерновими сортами широко представлені пивоварні та комбіновані варіанти, що поєднують зернове, пивоварне або фуражне

призначення.

Серед ярого ячменю окремо формується чітко окреслена група сортів пивоварного напряму, яка відрізняється як специфікою використання, так і хронологією державної реєстрації. До цієї групи належать сорти АББА, Авалон, Геліос, Гося, Квенч, КВС Ірина, ЛГ Бельканто, ЛГ Тосса, Лексі, Овертюр, Орвел, Спітфаєр, Тася та Шиваго, які внесені до Реєстру [23] у різні роки, але переважно в період активного розвитку пивоварного напряму селекції ярого ячменю. Так, сорт АББА був зареєстрований у 2016 році, що можна вважати одним із перших етапів розширення сучасного пивоварного сегмента. Авалон з'явився в Реєстрі [23] у 2013 році, тоді як Геліос був зареєстрований дещо раніше – у 2011 році, що свідчить про поступове формування вимог до технологічних властивостей зерна саме для солодового використання.

Сорт Гося внесений до Реєстру [23] у 2018 році, а Квенч – у 2017 році, що відображає період активного залучення іноземних селекційних розробок до національного сортового складу. КВС Ірина зареєстрована у 2019 році й належить до сортів, створених із чіткою орієнтацією на стабільність якості зерна та прогнозовані пивоварні показники. Схожі часові рамки має і сорт ЛГ Бельканто, який був внесений до Реєстру [23] у 2020 році, а також ЛГ Тосса, зареєстрований у 2021 році, що демонструє послідовне розширення лінійки пивоварних сортів під брендами міжнародних селекційних компаній.

До цієї ж групи належить сорт Лексі, зареєстрований у 2014 році, який тривалий час залишається одним із поширених пивоварних сортів завдяки стабільним технологічним характеристикам. Овертюр був внесений до Реєстру у 2015 році, Орвел – у 2016 році, а Спітфаєр – у 2018 році, що вказує на хвилеподібний, але сталий характер появи нових сортів із пивоварним призначенням. Сорт Тася зареєстрований у 2019 році та доповнює цю групу як приклад сучасного селекційного матеріалу, адаптованого до вимог переробної галузі.

Окремої уваги заслуговує сорт Шиваго, який був внесений до Реєстру [23] у 2017 році і став одним із показових прикладів орієнтації селекції на поєднання врожайності з придатністю до солодового виробництва. Загалом аналіз років реєстрації цих сортів показує, що абсолютна більшість пивоварних сортів ярого ячменю з'явилася після 2010 року, що прямо корелює зі зростанням попиту на спеціалізовану сировину для солодового та пивоварного виробництва. Така динаміка свідчить про цілеспрямований розвиток пивоварного напряму селекції, який поступово займає стабільну нішу в загальній структурі сортового складу ярого ячменю в Україні.

Основну частину ярого ячменю в Реєстрі [23], як і у випадку з озимими формами, формують саме зернові сорти, що чітко простежується за роками їх державної реєстрації та кількісною перевагою. До цієї групи належать сорти різних років створення, що відображає безперервний характер селекційної роботи в цьому напрямі. Зокрема, до відносно нових сортів належить Абсолют, зареєстрований у 2023 році, тоді як сорт Авгур був внесений до Реєстру у 2017 році. Айжан зареєстровано у 2018 році, Айрвей – у 2022 році, Актуал – у 2019 році, а Амадей – у 2021 році. Сорти Арей і Барвін були зареєстровані у 2020 та 2021 роках відповідно, що свідчить про активне оновлення сортового складу в останнє десятиліття. Бенте з'явився в Реєстрі [23] у 2018 році, Бравий – у 2020 році, Брант – у 2023 році, а Бунчук належить до новітніх сортів і зареєстрований у 2024 році.

До групи зернових ярих сортів також входять Генерал, зареєстрований у 2023 році, Гіакінт – 2022 року, Гуллівер – 2018 року, Дар Носівщини – 2018 року, Діантус – 2020 року та Експлоєр, який був внесений до Реєстру [23] у 2013 році. Сорт Жана має рік реєстрації 2014, Інер – 2021, ІС МАЛТІГО – 2023, Кречет – 2020, а Лауреат – 2019. Маріан також зареєстрований у 2020 році, що підтверджує стабільну появу зернових сортів у цей період.

Значну частину зернового ярого ячменю становлять сорти селекції Миронівського інституту пшениці, які з'являлися в Реєстрі [23] протягом кількох років. Так, МІП Азарт був зареєстрований у 2017 році, МІП Богун – також у 2017 році, МІП Вдячний і МІП Вісник – у 2018 році, МІП Девіз і МІП Захисник – у 2019 році. МІП Люкс з'явився у 2020 році, МІП Мирний – у 2017 році, МІП Мирослав – у 2018 році, МІП Салют – у 2017 році, МІП Сотник – у 2017 році, МІП Титул і МІП Шарм – у 2019 році. Така концентрація сортів одного селекційного центру в межах короткого часового проміжку свідчить про цілеспрямовану роботу з формування зернового напряму ярого ячменю.

До зернових сортів також належать Натаір, зареєстрований у 2021 році, Незламний – 2023 року, Новатор Носівський – 2018 року та Носівчанин – 2022 року. Обрій Поліський був внесений до Реєстру [23] у 2024 році, Покоління – у 2023 році, Проспект – у 2020 році, Рагнар – у 2024 році, Резерв – у 2017 році, Реприз – у 2020 році та Самородок – у 2017 році. Сорт СБ Комфорт зареєстрований у 2020 році, Світоч і Світоч Носівський – у 2021 році, Сіон – у 2022 році, Сірінг – у 2020 році. Завершують цю групу Фандага, зареєстрований у 2019 році, Фатіма – 2017 року, Хайленд – 2022 року, Шедевр – 2019 року, Шеффорд – 2022 року та Шубін – 2023 року. Сукупність цих даних чітко показує, що зерновий напрям ярого ячменю систематично розвивається, охоплюючи як сорти попередніх років, так і найновіші селекційні досягнення.

На сучасних українських круп'яних підприємствах переробка ячменю у перлову та ячну крупу

залишається технологічно складним і ресурсомістким процесом, що характеризується низьким виходом готової продукції та значними енергетичними витратами.

Відповідно до Правил ведення і організації технологічного процесу на крупяних заводах [24] очищене від характерних домішок зерно ячменю направляють на лущення, яке здійснюють шляхом послідовного пропуску крізь чотири лущильні системи. Існуюча технологія допускає проведення етапу воднотеплової обробки зерна ячменю перед лущенням. При її проведенні зерно пропарюють при надлишковому тиску пари 0,20 МПа протягом 3 хв, підсушують до вологості не більше 15 % та спрямовують на лущення. На першому етапі ячмінь лущать на двох системах оббивальних машин, на другому – на двох системах лущильно-шліфувальних машин типу А1-ЗШН. Після цього, лущений ячмінь (пенсак) спрямовують на три шліфувальні і три полірувальні системи. Шліфування та полірування проводять з проміжним провіюванням продуктів шліфування, після другої шліфувальної і полірувальної систем, та проміжним просіюванням, після третьої шліфувальної системи. Для шліфування і полірування застосовують машини типу А1-ЗШН.

Сортування продуктів після третьої шліфувальної системи здійснюють в круп'яному розсійнику. Схід сит Ø 2,5 мм, направляють на першу полірувальну систему, прохід сита Ø 2,5 мм і схід сита № 063 надходить на етап сортування круп перлових. Отриману після полірування суміш продуктів спрямовують на етап сортування круп перлових, який включає чотири системи. На першій сортувальній системі сходом з сита Ø 4,0 мм проводять вилучення частинок більших за розмірами в порівнянні з крупами, які повертають на полірування, прохід сита Ø 4,0 мм і схід сита Ø 3,0 мм надходить для остаточного сортування на другу сортувальну систему, прохід сита Ø 3,0 мм і схід сита № 056, являє собою суміш круп перлових № 2, 3, 4, 5 з борошенцем і надходить на третю сортувальну систему. Проходом сита № 056 вилучають борошенце. На другій сортувальній системі проходом сит Ø 3,0 мм вилучають менші за розмірами частинки і направляють їх для додаткового сортування на третю сортувальну систему, а схід сита Ø 3,0 мм, який являє собою перлову крупу № 1 надходить на контроль. На третій сортувальній системі на ситах Ø 2,5 мм проводять вилучення крупи перлової № 2. Прохід сита Ø 2,5 мм і схід сита № 056 отриманий на третій сортувальній системі являє собою суміш круп перлових №3, №4, №5 та залишків борошенця яка для остаточного сортування надходить на четверту сортувальну систему де сходами сит Ø 2,0, 1,5 мм та сита № 056 відповідно отримують № 3,4 та 5. Крупи перлові усіх номерів контролюють на наявність борошенця шляхом однократного пропуску крізь повітряні сепаратори та після контролю на металомагнітні домішки спрямовують на фасування. Дана технологія передбачає велику тривалість і складність технологічного процесу: 4 лущильні системи, 3 шліфувальні системи, 3 полірувальні системи, 5 сортувальних систем та 7 систем контролю ядра на різних етапах у повітряних сепараторах потребує значних виробничих площ для розміщення відповідного лущильного, шліфувального та сортувального обладнання, бункерів для вторинних сировинних ресурсів, що викликає труднощі у здійсненні даного процесу на заводах невеликої потужності при цьому вихід круп не перевищує 50 %.

Основною причиною низького виходу є багатоступеневе лущення, шліфування та полірування зерна, які необхідні для досягнення однорідності і товарного вигляду крупи. В існуючій технологічній схемі для виробництва перлової крупи використовують чотири лущильні системи, які послідовно видаляють зовнішні оболонки зерна і частину алейронового шару. З одного боку, це забезпечує чистоту продукту, а з іншого – суттєво зменшує масу ядра, яке складає основу крупи. Додатково зерно проходить через три шліфувальні системи, що дообробляють поверхню ядра і видаляють залишки оболонок, та три полірувальні системи, що надають крупі потрібний блиск і товарний вигляд. Кожен з цих етапів супроводжується втратами певної частини ядра у вигляді дрібних частинок, які надалі спрямовуються відходи. Ще однією проблемою є висока енергоємність технології. Лущильні, шліфувальні і полірувальні системи, а також проміжне сортувальня споживають значну частину електричної енергії. За даними промислових підприємств, які займаються переробкою ячменю на одну тонну переробленого зерна витрачається приблизно 60–80 кВт·год електроенергії. У період війни, коли постачання енергії нестабільне, це створює серйозні труднощі: підприємства не завжди можуть забезпечити безперервну роботу ліній, що знижує продуктивність і збільшує собівартість крупи.

Враховуючи все це виникає необхідність досліджень технологічних властивостей і хімічного складу сучасних плівчастих сортів ячменю з метою визначення їх придатності як сировини для сучасного круп`яного виробництва та визначення оптимальних режимів лущення і шліфування з метою скорочення етапів технологічного процесу, що в свою чергу підвищить якість готової продукції,зменшить кількість побічних продуктів і відходів та дозволить зменшити існуючі енергетичні витрати на виробництво. Також необхідно відзначити що існуючий традиційний асортимент ячмінних продуктів – крупи перлові та крупи ячні на сьогодні вже не мають такого суттєвого попиту і потребують перегляду своїх споживчих властивостей у напрямку розробки продуктів швидкого приготування, продуктів що не потребують варіння, а також їх застосування у комбінованих крупяних продуктах: сумішах круп, пластівців, зернових

сніданках тощо. Також окремим напрямом можна виділити такі сучасні продукти як зернові батончики і включення до їх рецептур продуктів переробки ячменю.

Список літератури

1. Badr, A., Müller, K., Schäfer-Pregl, R., El Rabey, H., Effgen, S., Ibrahim, H. H., Pozzi, C., Rohde, W., & Salamini, F. (2000). On the origin and domestication history of barley (Hordeum vulgare). Molecular Biology and Evolution, 17(4), 499–510.
2. Morrell, P. L., Clegg, M. T. (2007). Genetic evidence for a second domestication of barley (Hordeum vulgare) east of the Fertile Crescent. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104(9), 3289–3294.
3. Guo, Y., Jayakodi, M., Himmelbach, A., Ben-Yosef, E., Davidovich, U., David, M., ... & Mascher, M. (2025). A haplotype-based evolutionary history of barley domestication. Nature, 1-9.
4. Saisho, D., & Purugganan, M. D. (2007). Molecular phylogeography of domesticated barley traces expansion of agriculture in the Old World. Genetics, 177(3), 1765-1776.
5. Панчишин, В. З., Мойсієнко, В. В., Сладковська, Т. А., Перепелиця, Л. О., & Корево, Н. І. (2024). Продуктивність ячменю ярого (Hordeum vulgare l.) залежно від сорту та позакореневого підживлення в умовах лісостепу України. Український журнал природничих наук, (7), 148-158.
6. Мосійчук, І. І., Безноско, І. В., Туровнік, Ю. А., & Мудрак, В. О. (2022). Вплив біологічних препаратів на посівну якість насіння рослин ячменю ярого (Hordeum Vulgare l.). Збалансоване природокористування, (3), 133-143.
7. МАРЕНЮК, О., БУГАЙОВ, В., & ВЕКЛЕНКО, Ю. (2025). Перспективні колекційні зразки ячменю посівного (озимого) за умов підвищеної кислотності ґрунту. Передгірне та гірське землеробство і тваринництво, 78(1), 88-97.
8. Касаткіна, Т. О., & Гамаюнова, В. В. (2018). Перспективи та особливості вирощування ячменю ярого на Півдні України. Наукові горизонти, (7-8), 131-138.
9. Ullrich, S. E. (2010). Significance, adaptation, production, and trade of barley. Barley, 3-13.
10. Newton, A. C., Flavell, A. J., George, T. S., Leat, P., Mullholland, B., Ramsay, L., ... & Bingham, I. J. (2011). Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. Food security, 3(2), 141-178.
11. Baik, B. K., & Ullrich, S. E. (2008). Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. Journal of cereal science, 48(2), 233-242.
12. Geng, L., Li, M., Zhang, G., & Ye, L. (2022). Barley: a potential cereal for producing healthy and functional foods. Food Quality and Safety, 6, fyac012.
13. Lukinac, J., & Jukić, M. (2022). Barley in the production of cereal-based products. Plants, 11(24), 3519.
14. Sullivan, P., Arendt, E., & Gallagher, E. (2013). The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. Trends in Food Science & Technology, 29(2), 124-134.
15. Grando, S., & Macpherson, H. G. (2005). Food barley: importance, uses and local knowledge. ICARDA, Aleppo, Syria, 121-137.
16. Wrigley, C. W., Corke, H., & Walker, C. E. (2004). Encyclopedia of grain science. Academic Press..
17. Newman, R. K., & Newman, C. W. (2008). Barley for food and health: Science, technology, and products. John Wiley & Sons.
18. Cook, A. H. (Ed.). (2013). Barley and malt: biology, biochemistry, technology. Elsevier.
19. Hockett, E. A. (2000). Barley. In Handbook of Cereal Science and Technology, Revised and Expanded (pp. 81-125). CRC Press.
20. Matz, S. A. (1991). Chemistry and technology of cereals as food and feed. Springer Science & Business Media.
21. Sharma, P., & Kotari, S. L. (2017). Barley: Impact of processing on physicochemical and thermal properties – A review. Food Reviews International, 33(4), 359-381.
22. ДСТУ 3769-98 «Ячмінь. Технічні умови»
23. Реєстр сортів рослин, придатних для поширення на території України
24. Правила організації і ведення технологічного процесу на круп'яних заводах. – К., 1998. – 164 с.

HULLED BARLEY AS A VALUABLE RAW MATERIAL FOR MODERN GROATS PRODUCTION

I. Kustov, PhD of Technical Science, Associate Professor O. Donii, post graduate student,
Odesa National University of Technology,112, Kanatna Str., Odesa, 65039, Ukraine

Abstract. *The article substantiates the feasibility of using hulled barley as a raw material for modern groats production, taking into account its chemical composition, physicotechnological properties of the grain, varietal characteristics, and existing processing technologies. It is shown that hulled barley, despite the dominance of feed and malting uses, has significant potential for groats production; however, the realization of this potential is constrained by the low efficiency of traditional technological schemes and a limited range of finished products.*

The chemical composition of hulled barley grain, which determines its nutritional and technological value, is analyzed. It is established that carbohydrates are the main component of the grain, accounting on average for 65–75%, with starch comprising 55–65% of the dry matter. A specific feature of barley starch is its fine-grained structure with granule sizes ranging from 2 to 25 μm and an amylose-to-amylopectin ratio of 1:3–1:4, corresponding to an amylose content of 20–28%. This structure results in a moderate gelatinization temperature and high viscosity of starch systems, which is important for both malting processes and groats processing. A significant role in shaping technological properties is played by β-glucans, the content of which in hulled forms averages 3–7%. Their presence increases the viscosity of aqueous systems and affects hulling, polishing, and hydrothermal treatment processes, while also determining the functional value of processed products.

The protein complex of hulled barley is characterized by a protein content of 9–13%. The major fractions are prolamins (35–45%) and glutelins (up to 30%), while albumins and globulins account for 20–30% of the total protein mass. Despite relatively low biological value due to deficiencies in lysine, methionine, and threonine, barley proteins exhibit satisfactory digestibility and technological suitability. The lipid fraction of the grain amounts to 2–3% and is represented mainly by unsaturated fatty acids, particularly linoleic acid (up to 45%) and oleic acid (up to 30%), which increases biological value but reduces storage stability. The fiber content in hulled barley reaches 5–10%, ash content is 2–3%, and the mineral composition is characterized by a high content of potassium (up to 500 mg/100 g), phosphorus (up to 400 mg/100 g), and magnesium (up to 130 mg/100 g), which is important for food use of the grain.

The physicotechnological properties of hulled barley grain are described in detail. Grain length is 8–10 mm, width 2.5–3.5 mm, thickness 2.0–2.5 mm, with a length-to-width ratio exceeding 2.5. Bulk density is relatively low, ranging from 580 to 640 g/L, and the thousand-kernel weight is 35–45 g. Hull content reaches 8–13%, and in some cases up to 15%, which leads to an increased proportion of outer layers and a reduced kernel yield. The endosperm of hulled barley is predominantly mealy or semi-vitreous, which facilitates water absorption but at the same time promotes the formation of fine fractions during mechanical processing.

The requirements of DSTU 3769-98 for barley grain of different uses are analyzed, showing that for food and groats applications the decisive parameters are moisture content not exceeding 14.5–15.5%, bulk density not lower than 570–600 g/L, limited contents of weed and grain impurities, and the absence of Fusarium-damaged kernels and pest infestation. It is emphasized that most modern barley varieties listed in the State Register of Plant Varieties of Ukraine are primarily oriented toward feed or malting uses, while specialization for groats production is virtually absent. This necessitates additional research into the technological properties of modern hulled varieties to adapt them to the requirements of the groats industry.

Special attention is paid to the analysis of existing technologies for processing barley into pearl barley and barley groats. It is shown that the traditional scheme involves multi-stage hulling, polishing, pearling, and sorting, including up to four hulling, three polishing, three pearling, and up to five sorting systems. Such process complexity leads to high kernel losses, a significant amount of by-products, and a low yield of finished groats, which in most cases does not exceed 50%. Additionally, energy consumption for processing is about 60–80 kWh per ton of grain, which significantly increases production costs and complicates the operation of small-capacity enterprises, especially under conditions of unstable energy supply.

Based on the analysis, the necessity of a scientifically grounded revision of approaches to hulled barley processing is concluded, including studies of its chemical composition and technological properties, optimization of hulling and polishing regimes, and reduction in the number of technological stages. The feasibility of expanding the range of barley processing products toward ready-to-cook products, combined groats mixtures, flakes, and other modern food forms is substantiated, which will increase the efficiency of using this crop in the groats industry.

Keywords: hulled barley, grain chemical composition, technological properties, β-glucans, groats production, hulling, polishing, pearl barley, groats yield, energy consumption.

Отримано в редакцію 20.08.2025 Received 20.08.2025
Прийнято до друку 02.09.2025 Approved 02.09.2025
Розміщено в інтернеті 29.12.2025 Available in Internet 29.12.2025