

SECTION 3. BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY

DOI: 10.46299/ISG.2025.MONO.AGRO.1.3.1

3.1 Біохімічні критерії оцінки харчової та кормової цінності зерна ячменю

Ячмінь є четвертою за значимістю зерновою культурою у світі після пшениці, кукурудзи та рису з глобальним виробництвом понад 150 мільйонів тонн, вирощених приблизно з 60 мільйонів га. Різноманітність напрямків використання ячменю (кормовий, харчовий, а також незамінна сировина для пивоварної промисловості) визначає його високу господарсько–виробничу значимість. Зерно ячменю має винятково високу харчову цінність і здатність бути профілактичним засобом проти трьох найтяжчих недугів останнього століття: коронарної хвороби серця, діабету і навіть раку кишечника. В залежності від напрямку використання зерно ячменю має відповідати чітко вираженим показникам якості.

Пивоварні властивості – комплекс ознак, пов’язаних з вмістом та властивостями білка, крохмалю, рівнем екстрактивності зерна та рядом інших показників. Труднощі селекції за цими господарсько–цінними ознаками пов’язані з їх складним генотипним контролем, а також з впливом на їх проявлення умов вирощування. За кордоном за останні десятиріччя генетичні дослідження показників якості зерна базуються на принципово новій методологічній основі, а саме на використанні молекулярних маркерів та методів генної інженерії, за допомогою яких можна не тільки контролювати гени якості зерна, але й дослідити їх функціональні властивості, цілеспрямовано впливати на рекомбінаційні процеси, процеси біосинтезу білків та ферментів, інтеграцію генів в хромосомах і, як наслідок, цілеспрямовано формувати показники якості зерна, які були задані селекціонерами та виробниками. При виробництві пива особлива увага приділяється біохімічним показникам сировини.

Якість пивоварного ячменю визначається комплексом біохімічних характеристик, що залежать від генотипу, умов вирощування та процесів формування зерна. У пивоварній промисловості особливу увагу приділяють вмісту білка, крохмалю, β -глюканів, ферментативній активності й структурі клітинних стінок, оскільки ці показники істотно впливають на солодження та якість готового пива [36]. Біохімічний склад зерна формується у тісному взаємозв'язку зі структурними особливостями ендосперму, співвідношенням запасних речовин та активністю ферментних систем, які забезпечують перетворення субстратів у процесі солодження [37].

Білковий комплекс зерна є одним із ключових критеріїв добору пивоварних сортів. Встановлено, що оптимальний вміст білка становить 9,5–11,5 %, оскільки підвищення цього показника може спричиняти зниження екстрактивності та погіршення колоїдної стабільності пива [38]. За надмірного накопичення білків зростає в'язкість суслу, утворюється більше високомолекулярних фракцій, здатних формувати небажані помутніння у готовому продукті [39]. У той же час, недостатній рівень білка зменшує ферментативний потенціал солоду, що негативно впливає на якість осахарення.

Крохмаль та його доступність є головним джерелом ферментативного перетворення під час солодження. Високий вміст крохмалю та його амілопектинової фракції корелює з високою екстрактивністю солоду [40]. Оптимальний ступінь клейстеризації та розчинності полісахаридів забезпечує ефективне осахарення під дією амілаз, що визначає вихід екстракту та швидкість бродіння [41].

Ключовим компонентом, що визначає технологічні властивості зерна, є **β -глюкани клітинних стінок**, які впливають на фільтраційні властивості суслу. Підвищений вміст β -глюканів призводить до збільшення в'язкості, уповільнення фільтрації та погіршення технологічних параметрів пивоварного виробництва [42]. Тому селекція пивоварних сортів ячменю спрямована на добір сортів із нижчим рівнем вмісту β -глюканів та високою активністю β -глюканази, що сприяє їх розщепленню під час солодження [43].

Значення окремих фракцій білків та крохмалю у пивоварінні визначається різною доступністю їх для конкретних видів гідролітичних ферментів (амілолітичних (α , β -амілази), протеолітичних ферментів. Достатній рівень активності цих ферментів є обов'язковою вимогою для забезпечення оптимального процесу осахарення і формування повноцінної структури суслу [44]. Потрібно також, щоб ячмінь, призначений для пивоваріння, мав достатній рівень активності ферментів дихання, оскільки найперша стадія цього процесу – замочування – пов'язана з дією цих ферментів (каталази, пероксидази), роль яких заключається в знешкоджуванні у зародках отруйних для них перекисних сполук та перекису водню, які накопичуються. Відомо, що ферментативний потенціал значною мірою залежить від сортових особливостей та умов вирощування, що є важливим критерієм селекційного добору.

Крім базових показників, важливими є **структурні властивості ендосперму**, зокрема скловидність, рівномірність розміру зернівок та їхня здатність до рівномірного проростання. М'який, борошністий ендосперм краще піддається модифікації, утворюючи однорідний солод високої якості, тоді як надмірна скловидність може обмежувати проникність ферментів і знижувати ефективність солодження [45].

Таким чином, добір сортів ярого ячменю пивоварного напряму базується на комплексній оцінці біохімічних показників, що визначають якість солоду та технологічну придатність зерна. Врахування білкового складу, вмісту крохмалю, β -глюканів, ферментативної активності та морфологічних характеристик ендосперму дозволяє ефективно ідентифікувати сорти, найбільш перспективні для пивоварної галузі.

Якість зерна ячменю кормового призначення визначається комплексом біохімічних показників, що визначають його поживну цінність, перетравність та засвоюваність у раціонах сільськогосподарських тварин. Основне значення має вміст протеїну, енергетичні компоненти, структура клітинних стінок, склад вуглеводів та рівень антипоживних речовин [46]. Зерно ячменю широко використовується в годівлі великої рогатої худоби, свиней та птиці завдяки

високому вмісту протеїну та доступних вуглеводів, але якість цих компонентів значно варіює залежно від сорту та умов вирощування.

Вміст сирого протеїну є ключовим показником кормової цінності зерна ячменю та зазвичай становить 9–14 %, причому найціннішими є фракції розчинних білків, які забезпечують підвищену доступність амінокислот для тварин [47]. Дефіцит протеїну у зерні обмежує продуктивність тварин, тоді як надлишок може призводити до дисбалансу поживних речовин та перевантаження азотного обміну.

Особливу увагу приділяють вуглеводному комплексу, що визначає енергетичну цінність зерна. Крохмаль є основним джерелом енергії (до 60 % маси), а його перетравність залежить від співвідношення амілози до амілопектину та ступеня структуральної щільності ендосперму [48]. Вищий вміст амілопектину забезпечує підвищену доступність енергії, тоді як надмірна скловидність знижує перетравність.

Суттєве значення має вміст клітковини. Підвищений рівень клітковини погіршує перетравність корму, особливо у свиней та птиці, спричиняючи збільшення в'язкості кишкового вмісту та зниження швидкості засвоєння поживних речовин [49]. Тому селекція кормового ячменю орієнтована на зменшення вмісту клітковини.

Важливими критеріями якості зерна ячменю є також вміст жиру, макро- і мікроелементів (Ca, P, Mg, Mn, Zn), рівень антипоживних речовин (фітин, інгібітори ферментів), маса 1000 зернин, рівномірність фракційного складу та ступінь зараженості мікотоксинами [50]. Підвищення поживної цінності кормового ячменю досягається шляхом селекції сортів з оптимальним співвідношенням протеїну, енергії та клітковини, а також застосуванням агротехнологій, що сприяють формуванню якісного зерна.

Харчовий (голозерний) ячмінь розглядається як цінна зернова культура з підвищеним вмістом харчових волокон, антиоксидантів, вітамінів та біологічно активних сполук. Завдяки відсутності жорсткого квіткового лусочкового шару

голозерний ячмінь характеризується підвищеною біодоступністю нутрієнтів і активно використовується у функціональних продуктах харчування [51].

Одним із головних показників якості є вміст β -глюканів, який у голозерних форм може досягати 4–8 %, що значно перевищує показники звичайних плівчастих сортів. β -Глюкани відіграють важливу роль у зниженні рівня холестерину, регуляції глікемічного профілю та формуванні пребіотичних властивостей зерна [52].

Важливою характеристикою зерна сортів ячменю харчового напряму є склад білків. Вміст протеїну у зерні голозерного ячменю зазвичай становить 11–16 %, а амінокислотний профіль більш збалансований порівняно зі звичайними сортами. Підвищений рівень лізину та триптофану покращує харчову цінність продукту [53].

Антиоксидантні властивості зерна голозерного ячменю зумовлені наявністю фенольних сполук, зокрема флавоноїдів, проантоціанідинів, та токотрієнолів. Фенольні речовини здатні нейтралізувати активні форми кисню та запобігати окиснювальному стресу в організмі людини [54]. Високий вміст клітковини, у тому числі водорозчинної, сприяє нормалізації мікробіоти кишківника та зменшенню ризику метаболічних порушень.

Зерно голозерного ячменю також характеризується підвищеною концентрацією вітамінів групи В (В1, В2, В6), вітаміну Е, мінералів (Se, Zn, Fe). Відсутність жорсткої оболонки забезпечує кращу засвоюваність цих компонентів [55]. Додатковими критеріями харчової якості є маса 1000 зерен, рівномірність круп'яної фракції, кольорові показники, вміст крохмалю, ступінь його желатинізації та органолептичні властивості продукту.

Таким чином, якість харчового голозерного ячменю визначається комплексом біохімічних та нутрієнтних показників, які забезпечують його перспективність для цільнозернових, дієтичних та функціональних продуктів.

В лабораторії біохімії Селекційно-генетичного інституту-Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення (СГІ-НЦНС) було проведено вивчення біохімічних критеріїв зерна ячменю для характеристики сортів пивоварного,

харчового та кормового напрямів. Для такої оцінки зерна ячменю важливе значення має вміст білка. Для сортів ячменю пивоварного напрямку велика кількість його небажана: таке зерно, як правило, містить менше крохмалю, що надалі несприятливо позначається на вмісті екстрактивних речовин солоду, і в результаті зменшується рентабельність переробки такої сировини на пиво. Але й занижений вміст білка (7-8%) позначається на пінистості та смакових якостях пива. На світовому ринку цінується зерно з вмістом білка на рівні 9-11%. В умовах вирощування СГП-НЦНС такий рівень білка мали сорти 'Аватар', 'Грааль', 'Святовит', 'Гермес' генотипи '09-26-08', '09-32-03', '09-73-01', '10-15-04' (табл. 1). Для сортів ячменю ярого харчового призначення бажаний вміст білка повинен бути 15-16 %. У досліджених генотипів харчового призначення вміст білка був від 11,54 до 16,6%. Самий високий вміст білка виявлено у сорта 'Ахіллес' та генотипів 'Аватар x nudum', 'Всесвіт x nudum Атаман' (табл.2). Для сортів ячменю кормового призначення вміст білка повинен бути не менш 12-13%. Самий високий вміст білка був встановлений у сортів озимого ячменю 'Селена Стар', 'Валькірія', 'Скарб Пальміри', 'Презент', 'Гордість Пальміри', генотипів '12-26-31', '1903', '09-05-18', '06-18-10-03', '06-18-10-10', '06-18-10-18', '09-06-18', '10-31-42' (табл. 3).

Важливим показником харчової цінності зерна є ефективність перетравлювання білків. Підвищення перетравлювання рослинних білків представляє собою важливе селекційне завдання. Показник перетравлювання білків показує, яка кількість рослинного білка розщеплюється та всмоктується у шлунково-кишковому тракті людини та тварин. Величина показника перетравлювання білків при постійному ферментному наборі травних протеїназ залежить перш за все від структури харчового білка та наявності у указаних організмах сполук, які можуть інактивувати протеїнази або екранувати їх субстрати. Багато рослинних білків мають низьку ферментативне перетравлювання, що знижує їх харчову та кормову цінність. Тому підвищення засвоюваності білків – одна із найбільш актуальних задач селекції. Серед досліджених генотипів ячменю харчового призначення найбільш високими

показниками перетравлювання білків характеризувалися сорт 'Ахіллес', 'Аватар х nudum', 'Вікторіана х nudum', 'Шакіра х nudum Водограй', серед сортів озимого ячменю кормового призначення – сорти 'Селена Стар', 'Валькірія', 'Скарб Пальміри', генотипи '08-10-01', '12-26-22' (табл. 2,3).

Другим важливим показником якості зерна ячменю є вміст крохмалю. Підвищений вміст крохмалю позитивно впливає на пивоварну цінність ячменю, оскільки екстрактивні речовини солоду складаються на дві третини із цукрів, що утворюються із крохмалю під дією амілаз, та одну третину – з інших сахаридів. Підвищеним вмістом крохмалю відрізнялися сорти 'Командор', 'Аватар', 'Грааль', 'Святовит', '10-15-04', '09-32-03' (табл. 1). Вміст крохмалю у генотипів ячменю харчового напрямку був від 55,5 до 60% з практично у всіх генотипів високим вмістом амілози в крохмалі (від 41,6 до 46,8%) (табл. 2).

Таблиця 1. Біохімічна характеристика сортів ярого ячменю пивоварного напрямку

Сорт, генотип	Вміст білка, %	Вміст крохмалю, %	Активність α -амілази, мг/г 30'	Активність β -амілази, мг/г 30'	Вміст β -глюканів, %	Вміст танінів, %
Командор	8,7	58,0	155,3	2258,8	4,48	2,80
Аватар	9,1	58,0	190,6	2004,7	4,52	2,32
Грааль	9,1	58,0	112,9	1468,2	4,44	2,77
Святовит	7,9	58,2	155,3	2110,6	4,52	3,28
Таманго	8,5	57,2	169,4	2110,6	4,78	2,88
Гермес	9,6	57,4	67,2	2305,9	4,94	2,68
07-18-08	8,7	57,9	70,6	1510,6	4,48	3,36
09-26-08	9,1	57,2	197,6	2117,6	4,58	3,20
09-32-03	9,3	59,2	134,1	2160,0	4,58	2,90
09-32-05	8,7	57,4	211,8	2124,7	4,73	3,04
09-14-06	8,6	57,5	169,4	2145,9	4,79	3,04
09-71-16	8,9	57,7	183,5	2167,1	4,92	2,96
09-73-01	10,1	56,7	105,9	2096,5	5,04	2,88
09-74-09	8,3	57,2	141,2	2075,3	4,62	2,90
09-74-14	8,5	56,9	133,6	2220,3	4,73	2,37
10-11-03	8,9	56,8	96,5	2219,8	5,13	2,40
10-11-11	8,7	57,2	96,5	2316,9	4,76	2,72
10-15-04	9,3	58,5	59,4	2257,4	4,76	3,57
09-71-11	8,3	57,6	133,7	2064,4	4,78	2,72
10-68-10	8,7	57,6	141,1	1344,1	4,79	2,56
Max	10,1	59,2	211,8	2316,9	5,13	3,57
Min	7,9	56,7	59,4	1344,1	4,44	2,32
$\bar{x}$	8,9 $\pm$ 0,1	57,6 $\pm$ 0,1	136,3 $\pm$ 9,9	2053,9 $\pm$ 62,1	4,8 $\pm$ 0,04	2,8 $\pm$ 0,07
CV,%	5,6	1,1	32,5	13,5	4,1	11,4

Таблиця 2. Біохімічна характеристика генотипів ячменю харчового напрямку

Сорт, генотип	Вміст крохмалю, %	Вміст амілози, %	Вміст білка, %	Вміст β -глюканів, %	Перетравлювання білка, %
Ахіллес	57,12	46,80	16,60	6,12	74,8
Аватар x nudum	58,59	44,80	12,33	5,12	73,1
Аватар x nudum	55,86	42,40	15,77	5,40	68,6
Воєвода x nudum	55,54	20,80	13,91	4,85	66,6
Всесвіт x nudum Атаман	56,39	41,60	15,48	5,76	69,4
Всесвіт x nudum Атаман	57,02	44,80	15,12	5,93	71,5
Всесвіт x nudum Водограй	56,28	45,60	12,84	6,23	72,4
Вікторіана x nudum	56,17	45,60	12,95	6,34	73,5
Вікторіана x nudum Атаман	57,65	46,80	12,41	6,54	71,8
Марте x nudum Атаман	56,49	45,20	13,71	6,11	73,7
Шакіра x nudum Атаман	56,49	44,00	14,86	6,15	72,7
Шакіра x nudum Водограй	56,17	45,60	14,71	6,16	73,9
Посада x nudum	60,06	44,80	11,54	5,98	72,6
max	60,06	46,80	16,60	6,54	74,8
min	55,54	20,80	11,54	4,85	66,6
$\bar{x}$	56,91 $\pm$ 0,34	42,98 $\pm$ 1,89	14,02 $\pm$ 0,43	5,89 $\pm$ 0,14	71,9 $\pm$ 0,65
CV, %	2,18	15,89	10,99	8,37	3,27

Таблиця 3. Біохімічна характеристика сортів озимого ячменю кормового напрямку

Сорт, генотип	Протеїн, %		Жир, %		Клітковина, %		Зольність, %		Перетравлювання білка, %	Вміст фітатів г/г
	на вих. реч.	на абс. сух. реч.	на вих. реч.	на абс. сух. реч.	на вих. реч.	на абс. сух. реч.	на вих. реч.	на абс. сух. реч.		
Селена Стар (дворучка)	12,5	14,0	4,4	4,9	3,6	4,0	2,3	2,6	74,0	0,0074
Достойний	9,7	10,8	3,9	4,4	3,5	3,9	1,7	1,9	67,4	0,0067
Академічний	10,7	12,0	3,8	4,3	4,0	4,5	2,2	2,5	73,2	0,0071
Айвенго	10,7	11,9	3,7	4,1	4,7	5,3	2,2	2,5	73,4	0,0071
Снігова королева	10,6	11,9	3,9	4,4	4,1	4,6	1,7	1,9	73,1	0,0071
Валькірія	11,6	12,9	4,0	4,4	3,8	4,2	2,0	2,2	74,1	0,0078
Дев'ятий вал	9,5	10,6	3,0	3,3	4,7	5,2	2,2	2,5	70,7	0,0060
Скарб Пальміри	12,9	14,4	2,9	3,2	4,5	5,0	2,7	3,0	75,4	0,0074
09-3333-05	10,2	11,4	3,8	4,3	4,2	4,7	1,9	2,1	72,2	0,0071
11-54-07	10,1	11,2	3,5	3,9	4,5	5,0	2,1	2,3	68,8	0,0071
06-111-04	10,1	11,2	3,5	3,9	5,1	5,7	1,9	2,1	73,8	0,0071
08-10-01	10,6	11,8	4,0	4,5	3,8	4,2	2,3	2,6	75,2	0,0057
09-09-12	9,7	10,8	4,0	4,5	4,1	4,6	2,3	2,6	73,9	0,0064
09-29-12	9,7	10,9	3,6	4,0	3,7	4,1	2,0	2,2	69,9	0,0071
09-29-21	10,3	11,5	3,8	4,2	3,6	4,0	2,2	2,5	74,2	0,0071

Продовження таблиці 3

09-29-38	10,7	12,0	3,4	3,7	4,3	4,8	3,1	3,5	73,5	0,0057
10-74-20	10,1	11,3	3,5	3,9	5,4	6,0	2,4	2,7	77,9	0,0064
11-54-06	10,1	11,2	3,4	3,8	3,8	4,2	2,6	2,9	70,9	0,0071
11-54-13	10,3	11,5	3,8	4,3	4,0	4,5	2,7	3,0	72,9	0,0071
12-26-05	9,9	11,1	3,9	4,3	3,7	4,1	2,1	2,3	68,9	0,0071
12-26-08	10,6	11,9	3,8	4,2	5,4	6,0	2,4	2,7	73,7	0,0071
12-26-14	9,6	10,7	3,8	4,2	3,8	4,2	2,2	2,5	72,3	0,0074
12-26-22	10,2	11,4	3,6	4,0	3,9	4,4	2,2	2,5	80,7	0,0071
12-26-31	15,5	17,3	3,5	3,9	3,7	4,1	2,2	2,5	73,6	0,0071
12-26-32	9,9	11,0	3,0	3,4	4,2	4,7	2,8	3,1	71,7	0,0067
12-26-34	9,8	10,9	3,2	3,5	4,7	5,3	2,5	2,8	70,1	0,0067
Презент	11,7	13,0	4,4	4,9	3,9	4,4	2,4	2,7	74,2	0,0064
Гордість Пальміри	11,9	13,3	4,2	4,6	4,1	4,6	2,4	2,7	71,4	0,0071
1903	12,7	14,2	4,2	4,7	3,0	3,4	2,6	2,9	71,8	0,0067
09-05-18	11,9	13,4	3,5	3,9	2,8	3,1	1,5	1,7	71,7	0,0053
06-18-10-03	13,7	15,4	4,1	4,6	2,5	2,8	2,3	2,6	72,2	0,0060
06-18-10-10	13,2	14,7	3,8	4,2	3,1	3,5	2,6	2,9	74,2	0,0064
06-18-10-18	13,4	15,0	3,8	4,3	3,1	3,5	2,4	2,7	72,3	0,0064
09-06-18	12,9	14,5	3,8	4,3	3,0	3,4	2,9	3,2	73,0	0,0050
10-31-42	13,5	15,1	4,2	4,7	3,1	3,5	3,0	3,4	73,6	0,0057
max	15,5	17,3	4,4	4,9	5,4	6,0	3,1	3,5	80,7	0,0078
min	9,5	10,6	2,9	3,2	2,5	2,8	1,5	1,7	67,4	0,0050
$\bar{x}$	11,2 $\pm$ 0,26	12,5 $\pm$ 0,29	3,7 $\pm$ 0,06	4,2 $\pm$ 0,07	3,9 $\pm$ 0,11	4,4 $\pm$ 0,13	2,3 $\pm$ 0,06	2,6 $\pm$ 0,07	72,8 $\pm$ 0,42	0,0067 $\pm$ 0,00011
CV,%	13,6	13,7	9,8	10,1	17,6	17,5	15,6	15,6	3,4	9,7

Значення окремих фракцій білків та крохмалю у пивоварінні визначається різною доступністю їх для конкретних видів гідролітичних ферментів, наприклад амілолітичних (α , β -амілази). У процесі осолоджування і зброджування ячмінного сусла критична важлива роль відводиться β -амілазі. Тому визначення активності гідролітичних ферментів є однією з важливих характеристик пивоварних властивостей ячменю. Високою активністю амілаз відзначалися сорти ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’. Вважається, що мутність пива – слідство утворення комплексних сполук β -глобуліну з танінами (поліфенолами). Тому для пивоваріння потрібні сорти ячменю зі зниженим вмістом танінів. Низький вміст танінів був відмічений у сортів ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’, генотипів ‘09-74-14’, ‘10-11-03’.

Одним з найважливіших біохімічних компонентів ячмінного зерна є β -глюкани, або розчинна клітковина. Високий вміст β -глюканів у зерні ячменю негативно впливає на пивоварні якості солоду, завдяки високій густині водних

розчинів цих сполук. З іншого боку, β -глюкани мають надзвичайно важливе дієтичне значення у харчуванні людини. Серед сортів ячменю пивоварного напрямку найнижчим вмістом β -глюканів відрізнялися сорти 'Командор', 'Святовит', 'Грааль'. Підвищеним вмістом β -глюканів відрізнялися сорти та генотипи ячменю харчового напрямку 'Ахілес', 'Всесвіт x pudum Водограй', 'Вікторіана x pudum', 'Вікторіана x pudum Атаман', 'Марте x pudum Атаман', 'Шакіра x pudum Атаман', 'Шакіра x pudum Водограй'.

Важливими біохімічними показниками для добору сортів кормового ячменю є вміст клітковини (не більше 7%), зольність (не більше 2-3%), низький вміст фітатів. Досліджені сорти озимого ячменю кормового призначення мали вміст клітковини від 2,8% до 6,0% на сух. реч. та зольність в середньому 2,6 % на абс. сух. реч.. Самим низьким вмістом фітатів характеризувалися сорти озимого ячменю 'Достойний', 'Дев'ятий вал', 'Презент' та генотипи '09-06-18', '09-05-18', '10-31-42', '09-29-38' (табл. 3).

При визначенні якості зерна ячменю важливе значення має визначення не тільки вмісту загального білка, але й кількості окремих фракцій білка, особливо розчинних білків. В зв'язку з цим нами був відпрацьований метод визначення вмісту окремих фракцій водо-сольових білків зерна ячменю з використанням методу високоефективної рідинної хроматографії (рис. 1).

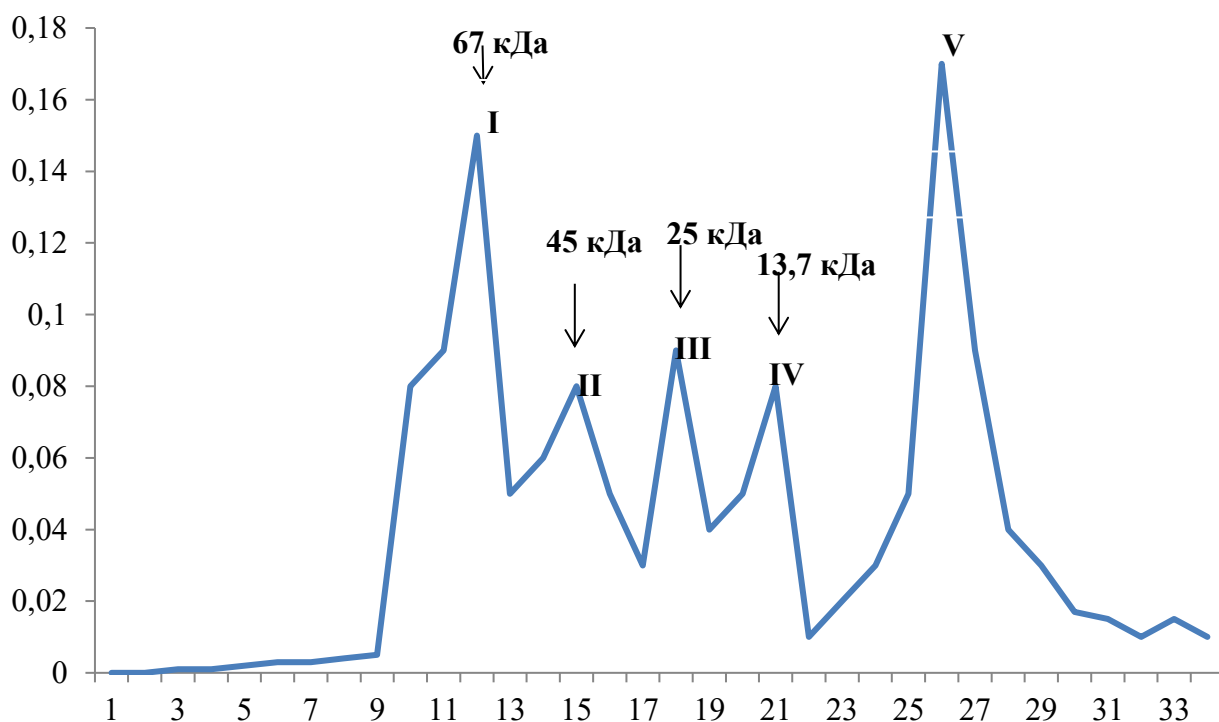


Рис. 1. Профіль елюції білків зерна ячменю ярого сорта Командор [розробка авторів]

Колонка Zorbax GF-250, швидкість 0,5 мл/хв, елюція 0,2 М фосфатний буфер, рН,7,2: В якості маркерів молекулярної маси використовували фосфорілазу Б (97 кДа), бичачий сировотковий альбумін (67 кДа), овальбумін (45 кДа), хімотрипсिनоген (25,0 кДа), рібонуклеаза (13,7 кДа).

В результаті проведених досліджень з використанням відпрацьованого методу були виявлені достовірні сортові відмінності за вмістом молекулярних фракцій водо-сольових білків ячменю, пов'язані з пивоварними властивостями ячменю. Всі сорти, незалежно від вихідного вмісту білка, практично не відрізнялися за рівнем високомолекулярних (67 кДа) та середньомолекулярних фракцій білка (25-45 кДа), загальні відмінності були відмічені в зоні низькомолекулярних білків та пептидів (13,7 та менше 13,7 кДа). Показано, що сорти з низьким вмістом вихідного білка характеризувалися найвищим рівнем фракції білків з молекулярною масою, меншою 13,7 кДа та найнижчим вмістом фракцій білків з молекулярною масою 13,7 кДа в порівнянні з високобілковими сортами. У середньобілковій групі спостерігався найвищий вміст фракції білків

з молекулярною масою 67 кД, а за всіма іншими фракціями білків ця група займала проміжне положення (табл. 4). Перевагою відпрацьованого методу є експресність (тривалість аналізу 1 зразка з використанням методу високоефективної рідинної хроматографії 30-40 хв., методом гелі-фільтрації на сефадексі G-100 – 4-5 годин), більш висока точність та можливість аналізу великої кількості зразків.

Таблиця 4. Вміст індивідуальних фракцій білків зерна ячменю

Сорти, генотипи	Вміст білка, %	67 кДа, %	45 кДа, %	25 кДа, %	13,7 кДа, %	< 13,7 кДа, %
Високобілкові	13,0-17,0	28,0 $\pm$ 0,2	14,7 $\pm$ 0,09	15,2 $\pm$ 0,1	13,8 $\pm$ 0,2	28,5 $\pm$ 0,3
Середньобілкові	10,0-12,0	29,4 $\pm$ 0,4	13,5 $\pm$ 0,1	14,9 $\pm$ 0,08	12,5 $\pm$,09	30,5 $\pm$ 0,5
Низькобілкові	8,0-9,8	27,8 $\pm$ 0,5	13,3 $\pm$ 0,2	15,6 $\pm$ 0,2	11,4 $\pm$ 0,08	32,5 $\pm$ 0,6

Відомо, що сорти ячменю відрізняються за складом гордеїнів. Показано, що генотипи з різним поєднанням алельних варіантів блоків гордеїну по локусах Hrd A та Hrd B достовірно відрізнялися за екстрактивністю зерна. Встановлено, що висока концентрація фракції В гордеїнів знижує вихід екстракту та характеризує сорти, які непридатні для використання в пивоварній промисловості, а низький вміст її навіть при високому рівні азоту полегшує переробку такого ячменю на солод. Вивчення компонентного складу гордеїнів дозволило виявити в спектрі цих білків, виділених із зерна пивоварних та кормових сортів ярого ячменю, від 10 до 15 компонентів з різною електрофоретичною швидкістю. Нами встановлені сортові відмінності за кількістю та інтенсивністю компонентів гордеїну у пивоварних та кормових сортів ячменю української та закордонної селекції (рис. 1,2).

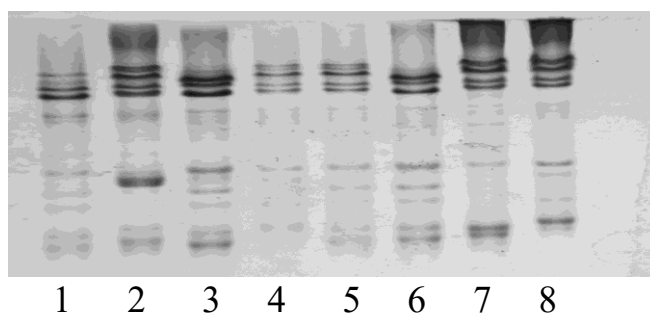


Рисунок 1. Електрофорез горденів [розробка авторів]

Сорти пивоварного напрямку: 1 – Галактик, 2 – Зоряний, 3 – Південний, 4 – Оболонь, 5 – Гетьман, 6 – Чудовий, 7 – Чарівний, 8 – Казковий

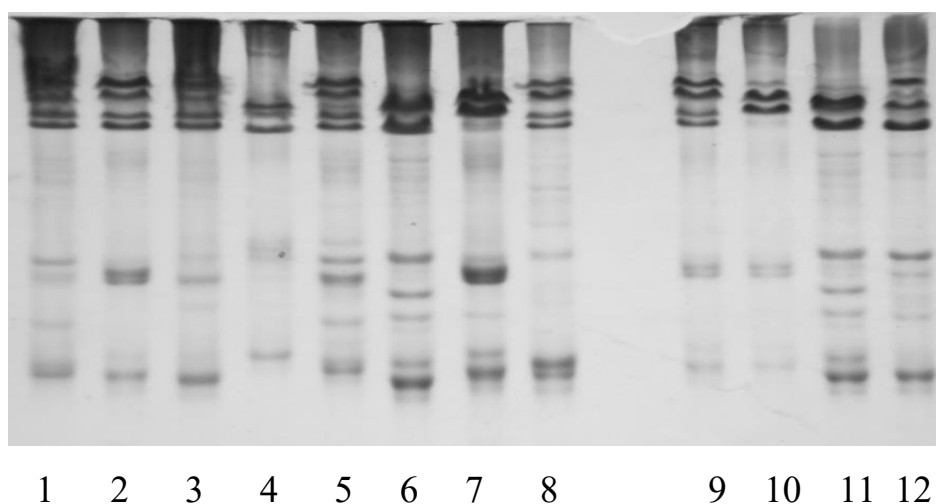


Рисунок 2. Електрофорез гордеїнів [розробка авторів]

Сорти пивоварного напрямку: 1 – Целінка (Франція), 2 – Невада (Франція), 3 – Мішка (Франція), 4 – Жозефін (Франція), 5 – Тюрінгія (Німеччина), 6 – Філадельфія (Німеччина), 7 – Анабель (Німеччина), 8 – Толар (Чехія);
Сорти кормового напрямку: 9 – Сталкер, 10 – Адапт, 11 – Водограй, 12 – Донецький 15.

Комплексні дослідження біохімічних показників зерна сортів ячменю пивоварного, харчового та кормового напрямів дали змогу встановити низку закономірностей, що визначають їх функціональну якість та придатність до відповідних напрямів використання.

1. Вміст білка залишається ключовим диференційним критерієм для всіх напрямів використання ячменю:

– для сортів пивоварного напрямку оптимальним є рівень 9–11%, який забезпечує збалансоване співвідношення білкових і крохмальних компонентів та високий рівень екстрактивних речовин.

– для сортів харчового напрямку оптимальним є вміст білка 15–16%, що зумовлює підвищену харчову цінність та функціональну активність продукту.

– для сортів кормового напрямку важливим є вміст білка не менше 12–13%, що забезпечує високу поживність і метаболічну цінність кормів. У досліджених сортів (генотипів) виявлено широкий діапазон коливань цього показника, що дозволяє проводити ефективний добір для різних технологічних потреб.

2. Ефективність перетравлювання білка є критичним показником для харчового та кормового напрямів. Серед генотипів ячменю харчового напрямку найвище перетравлювання білка встановлено у сорта ‘Ахіллес’, генотипів ‘Аватар × nudum’, ‘Вікторіана × nudum’ та ‘Шакіра × nudum Водограй’. Для кормових сортів найкращі показники засвоюваності білків виявлено у сортів ‘Селена Стар’, ‘Валькірія’, ‘Скарб Пальміри’ та у низки цінних генотипів.

3. Високе перетравлювання білка корелює з вмістом легкоекстрагованих та низькомолекулярних фракцій білків.

4. Вміст крохмалю в зерні ячменю впливає на пивоварні властивості сортів. Підвищений вміст крохмалю (>58%) сприяє кращому осахарюванню сусла. Найвищі показники крохмалю виявлено у сортів ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’, ‘Святовит’, ‘09-32-03’.

Сорти та генотипи харчового напрямку характеризуються стабільно високим вмістом крохмалю з підвищеним вмістом амілози (до 46,8%), що підвищує харчову цінність.

5. Одним із факторів пивоварної якості зерна ячменю є активність гідролітичних ферментів (α - та β -амілази). Сорти ‘Командор’, ‘Аватар’, ‘Грааль’, ‘Гермес’, ‘09-74-14’ продемонстрували найвищі рівні активності ферментів.

6. Вміст танінів є обмежувальним фактором для пивоварного ячменю. Найнижчий вміст поліфенолів зареєстровано у сортів 'Командор', 'Аватар', 'Грааль', генотипів '09-74-14', '10-11-03'. 7.β-Глюкани виконують різноспрямовану технологічну та харчову роль.

– У зерні сортів ячменю пивоварного напрямку високий вміст β-глюканів є небажаним через погіршення фільтрації сусла. Найнижчі значення цього показника відзначено у сортів 'Командор', 'Святовит', 'Грааль'.

– У зерні сортів харчового напрямку, навпаки, високий вміст β-глюканів (до 6,5%) є корисним функціональним показником завдяки їхній важливій ролі в регуляції ліпідного та вуглеводного обміну людини.

8. Для зерна ячменю сортів кормового напрямку критичними є вміст клітковини, фітатів та зольність.

Оптимальним вважається вміст клітковини <7% та зольність 2–3%. Досліджені сорти здебільшого відповідали цим нормам, а найнижчий вміст фітатів виявлено у сортів 'Достойний', 'Дев'ятий вал', 'Презент' та низки високопродуктивних генотипів.

9. Дослідження фракційного складу водо-сольових білків зерна ячменю з використанням методу високоефективної рідинної хроматографії дозволило встановити достовірні сортові відмінності за вмістом молекулярних фракцій цих білків, пов'язані з пивоварними властивостями сортів ячменю.

Досліджені сорти та генотипи ячменю демонструють значний потенціал для практичного використання у селекції, харчовому виробництві, пивоварній промисловості та тваринництві. Встановлені закономірності можна використовувати для масової оцінки селекційного матеріалу з метою добору генотипів з підвищеною харчовою та кормовою цінністю.

Представлені результати свідчать, що біохімічні показники зерна ячменю формують його технологічну цінність та визначають придатність до харчового чи кормового використання. Описані біохімічні показники та методи досліджень можуть бути використані для розробки ефективних методів добору вихідного матеріалу та ідентифікації цінних генотипів у селекційному процесі.