

Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва
Національної академії аграрних наук України

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

МИХАЙЛЕНКО ЄВГЕНІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 633.16:631.527:339.138

ДИСЕРТАЦІЯ

ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЇ
ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЮ ХАРЧОВОГО НАПРЯМУ ВИКОРИСТАННЯ

галузь 20 Аграрні науки та продовольство
спеціальність 201 Агрономія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела

_____ Є.О. Михайленко

Науковий керівник: Васько Наталія Іванівна, доктор сільськогосподарських
наук, старший науковий співробітник

Харків – 2026

АНОТАЦІЯ

Михайленко Є.О. Особливості створення вихідного матеріалу для селекції голозерного ячменю харчового напрямку використання. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії у галузі 20 Аграрні науки та продовольство за спеціальністю 201 Агрономія – Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН України, Харків, 2026.

У дисертації наведено шляхи вирішення важливої наукової проблеми встановлення особливостей створення вихідного матеріалу для селекції голозерного ячменю харчового напрямку використання, в тому числі з кольоровим зерном, зокрема селекційно-орієнтований аналіз мінливості селекційного матеріалу за реакцією на зміну умов середовища, визначення селекційної цінності вихідного матеріалу та прогнозування перспективних гібридних комбінацій, встановлення поживних якостей та виділення джерел з комплексом цінних господарських ознак, впровадження перспективних ліній голозерного кольорового ячменю у селекційні програми, створення нових зразків з метою розширення генетичного різноманіття голозерного ячменю, що має стратегічне, економічно обґрунтоване значення в галузі селекції та виробництва голозерного кольорового ячменю як нішевої культури.

Підставою для досліджень за даною темою є розширення і поглиблення селекційної роботи з ячменем в напрямі встановлення оптимальних параметрів ознак якості зерна, створення сортів з комплексом цінних властивостей, придатних для виробництва продуктів харчування, в тому числі дієтичного та дитячого, що в кінцевому результаті сприятиме забезпеченню продовольчої безпеки України.

Наукова новизна полягає у вирішенні важливої наукової проблеми встановлення особливостей створення вихідного матеріалу для селекції голозерного ячменю харчового напрямку використання, в тому числі з

кольоровим зерном. Відрізняється від раніше відомих результатів встановленням селекційних особливостей голозерного ячменю з кольоровим зерном, харчової цінності та визначення придатності створеного селекційного матеріалу для пребридингу голозерного ячменю з кольоровим зерном.

Уперше в Україні встановлено залежність харчової цінності зразків голозерного ячменю з кольоровим зерном (жовтим, чорним, сірим, зеленим, блакитним та ін.) від різновиду, умов вирощування та вмісту певних фітонутрієнтів; взаємозв'язки та закономірності успадкування кількісних ознак голозерних зразків ячменю з кольоровим зерном, визначено тип розщеплення в гібридних популяціях за кольором зерна.

Установлено вміст фенольних сполук і антоціанідинів у зерні голозерного кольорового ячменю та жирнокислотний склад олії, виділено джерела високого вмісту цінних нутрієнтів та поліненасичених жирних кислот в олії.

Внаслідок рекомбінації генів виділено новоутворення в гібридних популяціях, які належать до невідомих різновидів, що сприяє розширенню генетичного різноманіття ячменю.

У результаті дослідження було встановлено, що реалізація кількісних ознак рослин голозерного ячменю залежить від генотипу та погодних умов вирощування. Потенціал рослин найбільш повно реалізується в сприятливих умовах 2025 року, а в умовах жорсткої посухи 2024 року була можливість відібрати посухостійкі та жаростійкі генотипи.

Виділено джерела цінних селекційних ознак, зокрема: джерела довгокошості – зразки CDC Alamo (11,4 см), UA 0805462 (9,9 см); великої кількості зерен у колосі – CDC Alamo (31 зерно), UA 0805462 та Віолет 18-1207 (28 зерен); продуктивності головного колоса – Віолет 18-1207 (1,59 г) та CDC Hilose (1,54 г). Виділення джерел цінних ознак є важливим для впровадження у селекційний процес з метою підвищення врожайності

голозерного ячменю та задоволення потреб у продовольстві, особливо в умовах зміни клімату.

Кореляція кількісних ознак залежить від умов року вирощування, між продуктивністю головного колоса та кількістю зерен у колосі встановлено тісну сильну кореляцію за всі роки дослідження ($r = 0,74\text{--}0,87$).

Враховуючи результати дисперсійного аналізу, boxplot аналізу, варіаційного та кореляційного аналізів, встановлено, що маркерними ознаками для добору перспективних зразків для селекції на продуктивність є довжина колоса та кількість зерен у колосі. Це дає змогу провести бракування ще до збору врожаю, що полегшує та прискорює селекційний процес.

Успадкування кількісних ознак у F_1 голозерного ячменю відбувається за різними типами взаємодії генів – гетерозис (наддомінування), позитивне та негативне домінування, проміжне успадкування, негативне наддомінування (депресія). Тип успадкування залежить від умов середовища та генотипу батьківських компонентів. Частота та ступінь прояву гетерозису залежить від батьківських компонентів та умов середовища. Ступінь гетерозису за всіма кількісними ознаками найбільш низьким був у 2024 році (6,7–21,5 %), що пояснюється дуже несприятливими погодними умовами та низькою реалізацією потенціалу рослин ячменю. У сприятливих умовах 2025 року ступінь гетерозису був найвищим – 24,0–74,7 %. Найвищого ступеню гетерозис досягав за вагою зерна з головного колоса – до 74,7 %. Виділено материнські та батьківські компоненти з найвищими ступенями гетерозису за висотою рослин, довжиною колоса, кількістю зернівок та вагою зерна з колоса. Також виділено перспективні гібридні комбінації, в яких переважає кількість гетерозисних ознак, у таких комбінаціях підвищується можливість виділення в наступних поколіннях трансгресивних сегрегантів.

Виділено перспективні комбінації схрещування для одержання високопродуктивних гібридних рослин є Віолет 18-1207 / CDC Hilose, Hoem / SGI 7024, UA 0805462 / SGI 7024, Mebere /Явір, UA 0800663 / SGI 7024.

Найкращими материнськими компонентами для селекції голозерного ячменю з кольоровим зерном на високу продуктивність є Віолет 18-1207, Mebere, UA 0805462, батьківськими – SGI 7024, UA 0800663, Явір, Віолет 18-1207.

Щодо забарвлення зернівок у гібридних поколіннях голозерного ячменю було рослин встановлено, що в F_1 над жовтим забарвленням домінує кольорове. При цьому за участі в схрещуванні фіолетовозерної лінії Віолет 18-1207 як за материнський, так і за батьківський компонент забарвлення зерна рослин F_1 завжди було фіолетове. У F_2 відбувається розщеплення за кольором зерна переважно за типом комплементарності, при цьому домінує колір зернівок такий же, який був у рослин F_1 . Установлено, що у F_3 розщеплення продовжується, рослини за кольором зернівок поділяються на різні за кількістю групи. При цьому перевагу за кількістю рослин має група із забарвленням зернівок таким, як було в F_2 .

У результаті рекомбінації генів отримано нові варіанти поєднання цінних ознак, виділено новоутворення з ознаками, нехарактерними для батьківських компонентів, тобто комплементарна взаємодія генів супроводжувалася утворенням генотипів, які не були схожими ні на жоден з батьківських компонентів. Створено рослини, які не відносяться до жодного із описаних сучасних різновидів голозерного ячменю – шестирядні з блакитним та оранжевим зерном, чорнозерні еректоїди із сірим колосом та світлими остюками і соломиною, жовті дворядні рослини з фіолетовими остюками. Це розширює генетичне різноманіття голозерного ярого ячменю.

У результаті аналізу вмісту поживних речовин та антиоксидантів у зерні голозерних зразків ячменю з різним забарвленням зерна було виділено джерела високого вмісту білка (понад 16 %) – Віолет 18-1207, CDC Alamo, UA 0800645, UA 0800663, UA 0802220 (18,29–17,98 %). Установлено, що вміст речовин антиоксидантів – фенольних сполук та антоціанідинів залежить від умов середовища, генотипу та їх взаємодії, що підкреслює необхідність тестування генотипів в різних умовах для виділення зразків з високим вмістом фенолів. У дослідженій вибірці найвищим вміст фенольних

сполук був у зразків UA 0800663, UA 0802220 (1,27–1,17 мг/г за еквівалентом галової кислоти). Обидва зразки мають зелене зерно.

Підтверджено зв'язок фіолетового забарвлення зерна та вмісту антоціанідинів. Найвищим вміст антоціанідинів був у лінії Віолет 18-1207 (0,17 умов. од. D530/г), у якої всі частини рослини мають фіолетове забарвлення. Окрім цієї лінії, порівняно високим вміст антоціанідинів був у зразків UA 0800663, UA 0802220 (зелене зерно) та SGI 7024 (блакитне зерно).

У результаті аналізу вмісту жирних кислот в олії виділено зразки з високим вмістом мононенасичених кислот: пальмітолеїнової – CDC Alamo, UA 0805462, UA 0800663, UA 0800645 (0,55–0,64 %), олеїнової – Віолет 18-1207, UA 0805462, SGI 7024, CDC Alamo (18,41–20,43 %). За вмістом поліненасичених кислот, особливо цінних для людського організму – ω -6 лінолевої – SGI 7024, UA 0800645 (52,50–54,410 %), ω -3 ліноленової – UA 0800645 (5,39 %). Таким чином, за високим вмістом ненасичених жирних кислот в олії зразки CDC Alamo, UA 0805462, SGI 7024, UA 0800645 є цінним вихідним матеріалом для селекції сортів голозерного ячменю, придатних для виготовлення продукції дієтичного харчування з профілактичною дією.

Виділено лінії невідомих різновидів SBSP-119 – шестирядна з блакитним зерном та CP-152C – шестирядна з оранжевим зерном та передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою розширення генетичного різноманіття ярого голозерного ячменю.

Таким чином, у результаті дисертаційних досліджень встановлено особливості селекційного процесу голозерного кольорового ячменю для створення вихідного матеріалу, перспективних ліній та сортів ярого ячменю харчового напряму використання, придатних для виробництва продукції функціонального харчування, в тому числі профілактичного та дитячого. Створення таких сортів та впровадження їх у виробництво як нішевої культури дасть можливість розвитку малого та середнього агропромислового та переробного бізнесу в сільських громадах, чим забезпечить додатковий

прибуток та зростання благополуччя громадян. Актуальність подібних досліджень у розвинутих країнах світу дає перспективу експортної орієнтації продукції голозерного кольорового ячменю.

Науковим установам рекомендовано:

Упроваджувати в селекційний процес з метою підвищення продуктивності голозерного ячменю джерела цінних селекційних ознак: довгоколосості – CDC Alamo (11,4 см), UA 0805462 (9,9 см); великої кількості зернівок у колосі – CDC Alamo (31 зерно), UA 0805462 та Віолет 18-1207 (28 зернівок); продуктивності головного колоса – Віолет 18-1207 (1,59 г) та CDC Nilose (1,54 г). 2. З метою підвищення ефективності доборів у гібридних популяціях та прискорення селекційного процесу доцільно керуватися маркерними ознаками – довжиною колоса та кількістю зернівок у колосі.

Для підвищення поживної якості голозерного ячменю слід впроваджувати в селекційний процес джерела високого вмісту фенольних сполук – UA 0800663, UA 0802220 (1,27–1,17 мг/г за екв. галової кислоти); антоціанідинів – Віолет 18-1207 (0,17 умов. од. D530/г), UA 0800663, UA 0802220, SGI 7024; поліненасичених кислот – ω -6 лінолевої – SGI 7024, UA 0800645 (52,50–54,410 %), ω -3 ліноленової – UA 0800645 (5,39 %).

З метою розширення генетичного різноманіття ячменю впроваджувати в селекційний процес лінії невідомих різновидів SBCP-119 – шестирядна з блакитним зерном та CP-152 С– шестирядна з оранжевим зерном; лінію NNG 24-349 v. *nigrinudum* – як джерело дуже високого вмісту білка (18,76 %), фенольних сполук (0,95 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,088 D530/г), поліненасичених жирних кислот лінолевої (54,41 %) і ліноленової (5,50 %) та високої посухостійкості; лінію GG 24-127 v. *viride* – як джерело дуже високого вмісту білка (19,49 %), крохмалю типу ваху, високого вмісту фенольних сполук (1,40 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,116 D530/г) та мононенасиченої олеїнової жирної кислоти (18,41 %).

Агровиробникам упроваджувати у виробництво голозерний кольоровий ячмінь як нішеву експорторієнтовану культуру з метою розвитку малого та середнього агропромислового і переробного бізнесу в сільських громадах та отримання додаткового прибутку.

Ключові слова: ячмінь ярий голозерний, селекція, сорт, забарвлення зернівки, якість зерна, фенольні сполуки, антоціанідини, вміст білка та крохмалю, жирнокислотний склад олії, успадкування, розщеплення, варіація, кореляція, елементи продуктивності та врожайності, продуктивність, маса 1000 зерен.

Список опублікованих наукових праць за темою дисертації

Статті у фахових виданнях України:

1. Васько Н.І., Козаченко М.Р., Солонечний П.М., Наумов О.Г., Зимогляд О.В., Михайленко Є.О. Голозерні сорти ячменю для забезпечення продовольчої безпеки. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101, № 10. С. 34–40. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-05>
2. Васько Н.І., Михайленко Є.О. Якісні властивості голозерного ячменю та успадкування забарвлення зерна. *Селекція і насінництво*. 2024. Вип. 126. С. 33–50. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2024.318764>
3. Vasko N., Mykhailenko Ye. Correlation between spring barley performance constituents under arid conditions. *Scientific reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21, No 4. P. 50–61. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/4.2025.50>
4. Васько Н.І., Михайленко Є.О. Тип взаємодії генів у F₁ ярого голозерного ячменю. *Зернові культури*. 2025. Т. 9, № 2. С. 207–214. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0380>

Статті в інших наукових виданнях:

1. Vasko N., Mykhailenko E. Anthocyanins in naked pigmented barley grain as a source of antioxidant activity. *Food Science & Nutrition Technology*. 2023. V. 8. Issue 3. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000301>

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації

Тези доповідей на міжнародних і вітчизняних конференціях:

1. Васько Н.І., Михайленко Є.О. Цінність харчового ячменю як нішевої культури для виробництва продукції здорового харчування. II Міжнарод. наук.-практич. конф. «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети», 24 березня 2023 р. Одеса, ІКОСГ, 2023. С. 185–187.
<https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/%D0%97%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>
2. Васько Н.І., Солонечний П.М., Солонечна О.В., Наумов О.Г., Козаченко М.Р., Зимогляд О.В. Михайленко Є.О. Цінність голозерного ячменю з кольоровим зерном як вихідного матеріалу для селекції харчового ячменю. 4th Internat. Sci.and Prac. Internet conf. «Ways of Science development in modern crisis conditions», June 8–9, 2023. Dnipro, Ukraine, 2023. Р. 111–112.
<http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2023/06/Conference-Proceedings-June-8-9-2023.pdf>
3. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Поздняков В.В., Анциферова О.В. Вплив гідротермічних умов вирощування на рівень антиоксидантної активності ячменю ярого. Наук.-практ. конф. «Продовольча та екологічна безпека України: проблеми та шляхи їх подолання», 12 жовтня 2023 р. Київ, Інститут агроєкології та природокористування НААН, 2023. С. 25–28.
https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/Publications/zbirnyky_conferentsii/Zbirnik%2012%20.10.2023.pdf
4. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Наумов О.Г. Результати гібридизації голозерного ячменю за кольором зерна F₁. VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва», 29–30 листопада 2023 р. Харків, ДБТУ. С. 35–37.
<https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>
5. Васько Н.І., Козаченко М.Р., Солонечний П.М., Наумов О.Г., Зимогляд О.В., Михайленко Є.О. Перспективи селекції ячменю за різними напрямками використання. VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур», 21–22 листопада

2023 р. Дніпро, ДДАУ. С. 201–203. <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/bitstream/handle/>

6. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Супрун О.Г., Шелякіна Т.А. Особливості селекції зернових культур для виробництва продукції функціонального харчування. II Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва сільськогосподарських культур», 29 березня 2024 р., Полтавський ДАУ. С. 118–120. <https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/2306c340-e501-4194-ade6-6fc380b66824/content>

7. Наталья Васько, Евгений Михайленко, Алексей Наумов. Наследование окраски зерна в F₁ голозерного ячменя. Materialele conferenței Științifico-practice cu participare internațională, dedicată a 80 ani de la fondarea ICCS «Selecția». С. 77–82, 13-14 iunie 2024, Republica Moldova, Bălți. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/77-82_50.pdf

8. Васько Н.І., Солонечний П.М., Зимогляд О.В., Наумов О.Г., Шевченко Г.С., Михайленко Є.О., Донченко А.О. Селекція ярого ячменю різних напрямів використання на стійкість до біотичних чинників. XXV Міжнародний наук.-практ. форум «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу». С. 246–249. Львів, Дубляни. 2–4 жовтня 2024 р. <https://lnup.edu.ua/attachments/article/8804/Forum%20LNUP%202024.pdf>

9. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Солонечний П.М., Солонечна О.В., Наумов О.Г., Зимогляд О.В. Вихідний матеріал голозерного ячменю в селекції сортів харчового напрямку використання. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні технології в рослинництві». С. 62–64. м. Харків, 27–28 листопада 2024 р. <https://yuriev.com.ua/assets/files/konferencii/zbirnik-tez-konferencii-ir-2024.pdf>

10. Васько Н.І., Солонечний П.М., Михайленко Є.О. Досягнення та перспективи селекції голозерного ячменю. V Всеукр. наук.-практ. конф. «Досягнення та концептуальні напрями розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі», 10 квітня 2025 р., с. Олександрівка,

Дніпропетровської обл., ІОБ, 2025. С. 9–10. <https://ovoch.com/assets/files/conference/tezu/tezi-dnipro-10-04-2025.pdf>

11. Vasko N.I., Mykhailenko Ye.O., Solonechnyi P.M., Solonechna O.V., Zymohliad O.V., Naumov O.H. Expansion of the naked barley genotypic diversity in the breeding of cultivars for functional nutrition. Мат. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. «Інноваційні технології в рослинництві», до 115 річ. З дня народ. Кияка Г.С., Дубляни, Львівський НУВМБ, 30 квітня 2025 р., С. 220–223. <https://repository.lnau.edu.ua/xmlui/handle/123456789/2477>

12. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Наумов О.Г. Методологічні особливості селекції польових культур для здорового харчування. Мат. міжнарод. наук.-практ. конф. «Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів», НУБіП України, м. Київ, 22–23 травня 2025 р. С. 53–55. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u394/mizhnarodna_naukovo-praktichna_konferenciya_prodovalcha.pdf

13. Васько Н., Михайленко Є., Солонечний П., Зимогляд О. Кореляція елементів структури продуктивності зразків голозерного ячменю. Мат. Міжнарод. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми сучасного землеробства, рослинництва і тваринництва», присв. 100-річчю від дня народження д. біол. н., акад. УААН, Ф.Ю. Палфія. с. Оброшине, 25 червня 2025 р. С. 36–37. https://isgkr.com.ua/images/sampledData/Tezy/Tezy_2025.pdf

14. Михайленко Є.О., Васько Н.І., Солонечний П.М., Зимогляд О.В. Розщеплення за кольором зерна в гібридних популяціях голозерного ячменю. Міжнарод. наук.-практ. конф. інтернет конференції молодих учених та спеціалістів, присв. 120-ій річ. від дня народ. І.М. Полякова «Теоретичні засади інноваційного розвитку рослинництва», ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН, 20 жовтня 2025 р., Харків. С. 82–86. <https://yuriev.com.ua/assets/files/konferencii/2025-zbirnik-molodi-vcheni.pdf>

ANNOTATION

Mykhailenko Ye. O. Peculiarities of Creating Starting Material for Hulless Food-grade Barley Breeding. – Qualifying scientific paper, manuscript copyright.

Thesis for for the Academic Degree of the Doctor of Philosophy in field 20 Agrarian Sciences and Food, specialty 201 Agronomy. – Yuriev Plant Production Institute of NAAS, Kharkiv, 2026.

The thesis presents solutions to an important scientific problem: establishing the specifics of creating starting material for hulless food-grade barley breeding, including cultivars with pigmented caryopses. This covers a breeding-oriented analysis of the variability of breeding material in response to changing environmental conditions, determination of the breeding value of starting material, prediction of promising hybrid combinations, evaluation of nutritional qualities, identification of sources with sets of valuable economic features, implementation of promising hulless barley lines with pigmented caryopses into breeding programs, and creation of new accessions to expand the genetic diversity of hulless barley, which holds strategic and economically justified importance in the breeding and production of colored hulless barley as a niche crop.

The rationale for the research on this topic lies in the expansion and intensification of barley breeding aimed at establishing optimal parameters for grain quality traits and creating cultivars with sets of valuable characteristics suitable for food production, including dietary and functional baby foods. Ultimately, this will contribute to ensuring the food security of Ukraine.

The scientific novelty lies in solving the critical scientific challenge of establishing the specifics of creating starting material for the breeding of hulless food-grade barley, including cultivars with pigmented caryopses. It differs from previously known results by establishing the breeding characteristics of colored hulless barley, its nutritional value, and assessing the suitability of the developed breeding material for the pre-breeding of colored hulless barley.

For the first time in Ukraine, the dependence of the nutritional value of hulless barley accessions with pigmented (yellow, black, gray, green, blue, etc.)

caryopses on variety, growing conditions, and contents of some phytonutrients has been established. The relationships and inheritance patterns of quantitative traits in colored hulless barley were identified, and the segregation types for grain color in hybrid populations were determined.

The contents of phenolic compounds and anthocyanidins in colored hulless barley grain, as well as the fatty acid profile of the oil, were determined. Sources with high levels of valuable nutrients and polyunsaturated fatty acids in the oil were identified.

As a result of gene recombination, novel forms belonging to previously unknown botanical varieties were identified in hybrid populations, contributing to the expansion of the genetic diversity of barley.

The study established that the expression of quantitative traits in hulless barley plants depends on genotype and environmental conditions. The plants' potential was most fully fulfilled under the favorable conditions in 2025, while the severe drought in 2024 allowed for the selection of drought- and heat-tolerant genotypes.

Sources of valuable breeding traits were identified, including:

Sources of long spikes: accessions 'CDC Alamo' (11.4 cm) and 'UA 085462' (9.9 cm);

Sources of high number of kernels per ear: accessions 'CDC Alamo' (31 kernels), 'UA 0805462', and 'Violet 18-1207' (28 kernels);

Sources of high productivity of the primary spike: accessions 'Violet 18-1207' (1.59 g) and 'CDC Hilose' (1.54 g).

The identification of sources of valuable traits is crucial for integration into the breeding process to increase the yield of hulless barley and meet food needs, particularly in the context of climate change.

Correlations between quantitative traits depend on growing conditions. There was a strong correlation between primary spike productivity and number of kernels per spike throughout all years of the study ($r = 0.74\text{--}0.87$).

Analysis of variance (ANOVA), boxplot analysis, as well as variation and correlation analyses showed that spike length and number of kernels per spike could serve as marker traits for selecting promising accessions for productivity-oriented breeding. This enables culling before harvest, simplifying and accelerating the breeding process.

Quantitative traits in F_1 hulless barley are inherited by various types of gene interaction: heterosis (overdominance), positive and negative dominance, intermediate inheritance, and negative overdominance (depression). The type of inheritance depends on environmental conditions and parents' genotypes. The frequency and degree of heterosis manifestation are also contingent upon parental forms and environmental factors. The degree of heterosis for all quantitative traits was lowest in 2024 (6.7–21.5%), which is explained by highly unfavorable weather conditions and poor fulfilment of the plants' potential. Under the favorable conditions of 2025, the degree of heterosis was highest, ranging from 24.0% to 74.7%. The highest degree of heterosis was achieved for kernel weight per primary spike —up to 74.7%. Maternal and paternal components were identified with the highest degrees of heterosis for plant height, spike length, number of kernels, and kernel weight per spike. Furthermore, promising hybrid combinations were identified where heterotic traits predominate; in such combinations, the probability of isolating transgressive segregants in subsequent generations increases.

Promising cross combinations for developing highly productive hybrid plants were identified: 'Violet 18-1207' / 'CDC Hilose', 'Hoem' / 'SGI 7024', 'UA 0805462' / 'SGI 7024', 'Meberé' / 'Yavir', and 'UA 0800663' / 'SGI 7024'. The best maternal components for breeding high-yielding hulless barley with pigmented caryopses were found to be accessions 'Violet 18-1207', 'Meberé', and 'UA 0805462', while accessions 'SGI 7024', 'UA 0800663', 'Yavir', and 'Violet 18-1207' turned out to be the best paternal components.

Regarding the caryopsis coloration in hybrid generations of hulless barley, it was found that in F_1 , pigmentation dominated over yellow color. When purple-grained line 'Violet 18-1207' was used as either the maternal or paternal form, the

caryopsis color in F_1 plants was consistently purple. In F_2 , segregation by caryopsis color was driven primarily by complementary gene interaction, with the dominant caryopsis color being the same as that observed in F_1 plants. Segregation continued in F_3 , where plants were grouped according to caryopsis color frequency; the group with the same coloration as in F_2 remained most numerous.

As a result of gene recombination, new combinations of valuable traits were obtained, and novel forms with characteristics not typical of the parental components were described. Specifically, complementary gene interaction led to the formation of genotypes that did not resemble either parent. Plants were produced that do not belong to any currently described botanical varieties of hulless barley: six-rowed plants with blue and orange caryopses, black-grained erectoid plants with gray spikes and light-colored awns and straw, and yellow two-rowed plants with purple awns. This significantly expands the genetic diversity of spring hulless barley.

Analysis of nutrient and antioxidant contents in the hulless barley accessions with various pigmentation of caryopses allowed for identification of sources of high protein content (over 16%): these were accessions ‘Violet 18-1207’, ‘CDC Alamo’, ‘UA 0800645’, ‘UA 0800663’, and ‘UA 0802220’ (18.29–17.98%). It was demonstrated that the contents of antioxidants—specifically phenolic compounds and anthocyanidins—depended on environmental conditions, genotype, and their interaction. This emphasizes the necessity of testing genotypes across diverse environments to identify accessions with high phenolic content. In the studied sample, the highest phenolic content was detected in accessions ‘UA 080663’ and ‘UA 0802220’ (1.27–1.17 mg/g gallic acid equivalent), both of which have green caryopses.

A correlation between purple grain coloration and anthocyanidin content was confirmed. The highest anthocyanidin content was recorded for line ‘Violet 18-1207’ (0.17 rel. units D530/g), in which all plant parts exhibit purple pigmentation. In addition to this line, relatively high anthocyanidin levels were

detected in accessions ‘UA 0800663’, ‘UA 0802220’ (green grain), and ‘SGI 7024’ (blue grain).

Analysis of the fatty acid profile in the oil identified accessions with high levels of monounsaturated fatty acids: palmitoleic acid – accessions ‘CDC Alamo’, ‘UA 0805462’, ‘UA 0800663’, and ‘UA 0800645’ (0.55–0.64%); oleic acid – ‘Violet 18-1207’, ‘UA 0805462’, ‘SGI 7024’, and ‘CDC Alamo’ (18.41–20.43%). Regarding polyunsaturated fatty acids, which are particularly beneficial for human health, high levels were found in the following accessions: ω -6 linoleic acid – ‘SGI 7024’ and ‘UA 0800645’ (52.50–54.41%); and ω -3 linolenic acid – ‘UA 0800645’ (5.39%). Thus, due to their high content of unsaturated fatty acids, accessions ‘CDC Alamo’, ‘UA 0805462’, ‘SGI 7024’, and ‘UA 0800645’ can serve as valuable starting materials for breeding hulless barley cultivars suitable for the production of dietary foods with preventive health benefits.

Lines of previously unknown varieties, ‘SBCP-119’ (six-rowed with blue grain) and ‘CP-152C’ (six-rowed with orange grain), were identified and submitted for registration to the National Center for Plant Genetic Resources of Ukraine (NCPGRU) to expand the genetic diversity of spring hulless barley.

In conclusion, the thesis research established the specifics of the breeding process for hulless barley with pigmented caryopses to create starting materials, promising lines, and spring food-grade barley cultivars, suitable for the production of functional foods, including preventive and baby foods. The creation of such cultivars and their implementation into production as a niche crop will enable the development of small and medium-sized agrarian and processing businesses in rural communities, thereby providing additional income and increasing the well-being of citizens. The relevance of such studies in developed countries further offers a promising export-oriented potential for colored hulless barley products.

The following recommendations have been outlined for scientific institutions:

- To increase the productivity of hulless barley, the following sources of valuable breeding traits should be implemented into the breeding process: sources of long spikes – accessions ‘CDC Alamo’ (11.4 cm) and ‘UA 0805462’ (9.9 cm); sources of great number of kernels per spike – accessions ‘CDC Alamo’ (31

kernels), ‘UA 0805462’, and ‘Violet 18-1207’ (28 kernels); sources of high productivity of the primary spike – line ‘Violet 18-1207’ (1.59 g) and cultivar ‘CDC Hilose’ (1.54 g).

- To improve the efficiency of selection in hybrid populations and accelerate the breeding process, it is advisable to use ear length and the number of kernels per ear as marker traits.

- To enhance the nutritional quality of hulless barley, the following sources should be integrated into breeding programs: for high phenolic content – accessions ‘UA 0800663’ and ‘UA 0802220’ (1.27–1.17 mg/g gallic acid equivalent); for high anthocyanidin content – line ‘Violet 18-1207’ (0.17 rel. units D530g), accessions ‘UA 0800663’, ‘UA 0802220’, and ‘SGI 7024’; for high levels of polyunsaturated fatty acids – ω -6 linoleic acid (accessions ‘SGI 7024’ and ‘UA 0800645’: 52.50–54.41%) and ω -3 linolenic acid (accession ‘UA 0800645’: 5.39%).

- To expand the genetic diversity of barley, lines of previously unknown varieties should be involved in breeding: lines ‘SBCP-119’ (six-rowed with blue grain) and ‘CP-152C’ (six-rowed with orange grain); line ‘NNG 24-349’ (var. *nigrinudum*) – as a source of very high contents of protein (18.76%), phenolic compounds (0.95 mg/g gallic acid equivalent), anthocyanidins (0.088 rel. units D530/g), and polyunsaturated fatty acids (linoleic 54.41% and linolenic 5.50%), as well as of high drought tolerance; line ‘GG 24-127’ (var. *viride*) – as a source of very high protein content (19.49%), waxy starch, high phenolic content (1.40 mg/g gallic acid equivalent), anthocyanidins (0.116 rel. units D530/g), and monounsaturated oleic acid (18.41%).

Agricultural producers are encouraged to implement colored hulless barley into production as an export-oriented niche crop to foster the development of small and medium-sized agrarian and processing businesses in rural communities, thereby securing additional profit.

Key words: hulless spring barley , breeding, variety, caryopsis pigmentation, grain quality, phenolic compounds, anthocyanidins, protein and starch contents, fatty acid profile, inheritance, segregation, variation, correlation, elements of productitvity and yield, productivity, weight 1000 grains.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	20
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН СЕЛЕКЦІЇ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЮ ХАРЧОВОГО НАПРЯМУ ВИКОРИСТАННЯ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ).....	27
1.1 Історія одомашнення ярого ячменю та значення культури ячменю для забезпечення продовольчої безпеки.....	29
1.2 Параметри якості зерна голозерного ячменю, в тому числі з кольоровим зерном та його значення для виготовлення продукції здорового харчування.....	32
1.3 Мінливість та успадкування кількісних ознак.....	44
Висновки до розділу 1.....	51
РОЗДІЛ 2 УМОВИ, ВИХІДНИЙ МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	54
2.1 Ґрунтово-кліматичні та агрометеорологічні умови проведення досліджень.....	54
2.2 Вихідний матеріал для дослідження.....	57
2.3 Методика проведення досліджень та статистична обробка експериментальних даних.....	60
Висновки до розділу 2.....	65
РОЗДІЛ 3 ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ РІВНЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЮ ТА ЇЇ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГЕНОТИПУ ТА УМОВ ВИРОЩУВАННЯ.....	67
3.1 Рівень і мінливість продуктивності сортів та колекційних зразків голозерного ярого ячменю з кольоровим зерном.....	67

3.2	Кореляційний аналіз елементів продуктивності голозерного ячменю та визначення ключових ознак і джерел для селекції на підвищену продуктивність.....	78
	Висновки до розділу 3.....	81
РОЗДІЛ 4 ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ОЗНАК ПРОДУКТИВНОСТІ, ЇЇ СТРУКТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА КОЛЬОРУ ЗЕРНА.....		83
4.1	Ступінь домінантності у F_1 ячменю, визначення перспективних гібридних популяцій.....	83
4.2	Розщеплення в гібридних популяціях F_2 та F_3 за кольором зерна, новоутворення в результаті рекомбінації генів.....	95
	Висновки до розділу 4.....	106
РОЗДІЛ 5 ОСОБЛИВОСТІ СОРТІВ ТА ЛІНІЙ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЮ ЗА ХАРЧОВИМИ ЯКОСТЯМИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗАБАРВЛЕННЯ ЗЕРНА.....		109
5.1	Вміст білка та крохмалю у зерні зразків голозерного ячменю .	109
5.2	Вміст цінних нутрієнтів (фенольних сполук та антоціанідів) у зерні голозерного ячменю.....	114
5.3	Вміст та жирнокислотний склад олії ячменю.....	118
5.4	Характеристика створених ліній голозерного ячменю з кольоровим зерном, визначення джерел цінних ознак для селекції харчового ячменю.....	120
	Висновки до розділу 5.....	125
	ВИСНОВКИ.....	128
	ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	134
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	135
	ДОДАТКИ.....	167

ВСТУП

Концепція державної політики України передбачає заходи, спрямовані на збереження здоров'я та працездатності населення, подовження тривалості й поліпшення якості життя громадян. Пріоритетною проблемою можна вважати створення принципово нових сортів та гібридів, технологій, глибокої комплексної переробки сільськогосподарської сировини у продукти високої якості, які мають оздоровчий вплив на організм людини, забезпечують профілактику аліментарно-залежних станів і захворювань.

«Ячмінь може допомогти людям пережити зміну клімату та глобальне потепління» (Стефанія Грандо, головний селекціонер ячменю в ICARDA).

Україна є одним з провідних експортерів зерна ячменю в світі, але важливою проблемою на шляху покращення її позицій на світовому ринку є нестабільність обсягів виробництва зерна ячменю за роками, що в першу чергу зумовлено значною чутливістю сучасних сортів до погодних флуктуацій. Сільськогосподарське виробництво потребує високоадаптивних сортів ячменю, з високою врожайністю та якістю продукції. Ячмінь займає найширшу екологічну зону серед основних зернових культур, тим самим створюючи високий потенціал для адаптивного генетичного різноманіття до різних факторів навколишнього середовища.

За посівною площею і валовим збором зерна у світовому виробництві ячмінь поступається лише пшениці, рису та кукурудзі. В Україні ця культура є другою після пшениці, тому відіграє важливу роль у зерновому балансі. Великі посівні площі ячменю зумовлюються його цінністю в продовольчому, зернофуражному і технічному відношенні.

Обґрунтування вибору теми дослідження. Ячмінь має унікальні дієтичні властивості серед зернових культур, його визнано продуктом функціонального харчування. У світі широко розгорнуто дослідження з вивчення та створення сортів ячменю харчового призначення, особливої уваги заслуговують голозерні зразки, в т.ч. які містять крохмаль зі зміненим

складом та мають кольорове зерно. Найбільших успіхів досягнуто науковцями Канади, Австралії, США, Швеції. В Україні наукові дослідження властивостей ячмінного зерна, особливо голозерного кольорового, ведуться ще недостатньо, тому треба більш повно дослідити збалансованість і якість; прояв та мінливість вмісту фенольних сполук, антоціанідинів та інших фітонутрієнтів, вміст та якість білка, крохмалю зі звичайним та змінним складом, вміст та жирнокислотний склад олії. Також потребує дослідження успадкування, тип взаємодії генів, кореляція між структурними елементами продуктивності у голозерних зразків ячменю з кольоровим зерном.

Підставою для досліджень за даною темою є розширення і поглиблення селекційної роботи з ячменем в напрямі встановлення оптимальних параметрів ознак якості зерна, створення сортів з комплексом цінних властивостей, придатних для виробництва продуктів харчування, в тому числі дієтичного та дитячого, що в кінцевому результаті сприятиме забезпеченню продовольчої безпеки України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу буде виконано особисто автором в 2022–2026 рр. у відповідності з тематичним планом Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН за завданнями 2021–2025 рр. 13.00.05.02.Ф «Теоретичне обґрунтування селекції сортів ячменю ярого з показниками якості зерна відповідно до напрямку використання (пивоварного, зернового фуражного та харчового)», 15.00.01.17.Ф «Підвищення адаптивності сортів та якості зерна ячменю в умовах трансформації клімату» на 2026–2030 рр. та 15.00.01.25.П «Створення вихідного матеріалу з підвищеною харчовою якістю для селекційного процесу голозерного ячменю з кольоровим зерном» на 2026–2028 рр.

Метою дослідження є визначення особливостей створення вихідного матеріалу для селекції голозерного ячменю харчового напрямку.

Для досягнення цієї мети буде вирішено такі *завдання*.

1. Установити мінливість кількісних ознак голозерних зразків ярого ячменю в умовах східної частини Лісостепу України в залежності від генотипу та під впливом середовища.

2. Визначити закономірності успадкування кількісних ознак , компонентів продуктивності.

3. Установити селекційно-генетичні особливості голозерних зразків ярого ячменю за продуктивним потенціалом та харчовими якостями в залежності від забарвлення зерна.

4. Визначити особливості та закономірності прояву харчових якостей та вмісту цінних нутрієнтів в залежності від генотипу та умов вирощування

5. Виділити джерела цінних ознак для створення сортів ячменю харчового напрямку використання.

Об'єкт дослідження: селекція ячменю харчового напрямку використання.

Предмет дослідження: обґрунтування особливостей добору та створення вихідного матеріалу з високими поживними властивостями для селекції голозерного ячменю харчового напрямку.

Методи дослідження. Польові (сортівивчення для визначення впливу умов вирощування на вихідний матеріал), селекційний (гібридизація для одержання експериментальних гібридів), біометричний та вимірювально-ваговий (для обліку продуктивності та врожайності), спеціальні для відповідних галузей – біохімічний (визначення вмісту білка, крохмалю, фенольних сполук, антоціанідинів та інших фітонутрієнтів, фракційного складу крохмалю, жирнокислотного складу олії), генетичний (визначення успадкування за ступенем домінантності, типу розщеплення за кольором зернівок), статистичні (дисперсійний, варіаційний, кореляційний та інші).

Наукова новизна одержуваних результатів. Уперше в Україні встановлено залежність харчової цінності зразків голозерного ячменю з кольоровим зерном (жовтим, чорним, сірим, зеленим, блакитним та ін.) від різновиду, умов вирощування та вмісту певних фітонутрієнтів

Установлено взаємозв'язки та закономірності успадкування кількісних ознак голозерних зразків ячменю з кольоровим зерном, визначено тип розщеплення в гібридних популяціях за кольором зерна.

Установлено вміст фенольних сполук і антоціанідинів у зерні голозерного кольорового ячменю та жирнокислотний склад олії, виділено джерела високого вмісту цінних нутрієнтів та поліненасичених жирних кислот в олії.

Внаслідок рекомбінації генів виділено новоутворення в гібридних популяціях, які належать до невідомих різновидів, що сприяє розширенню генетичного різноманіття ячменю

Відмінністю від подібних робіт є встановлення селекційних особливостей голозерного ячменю з кольоровим зерном, установлення харчової цінності та визначення придатності створеного селекційного матеріалу для пребридингу голозерного ячменю з кольоровим зерном.

Практичне значення одержуваних результатів. На основі встановлених селекційно-генетичних закономірностей мінливості ознак ярого ячменю забезпечено ефективність оцінки та виділення вихідного матеріалу для селекції сортів голозерного ячменю з кольоровим зерном, придатних для виробництва продуктів харчування, у тому числі дієтичних.

Установлено вплив умов вирощування (середовища) на господарські показники та харчові властивості ячменю з кольоровим зерном з метою визначення оптимальних зон промислового вирощування.

Виділено джерела цінних властивостей з метою оптимізації та прискорення селекційного процесу:

– довгоколосості – CDC Alamo, UA 0805462 (10–11 см), великої кількості зерен у колосі – CDC Alamo (31 зерно), UA 0805462, Віолет 18-1207 (28 зерен);

– високого вмісту білка – Віолет 18-1207, CDC Alamo, UA 0800645, UA 0800663, UA 0802220 (18,29–17,98 %), крохмалю – UA 0800645, SGI 7024 (59,77–58,54 %);

– фенольних сполук – UA 0800663, UA 0802220 (1,27–1,17 мг/г за екв. галової кислоти), антоціанідинів – Віолет 18-1207 (0,17 умов. од. D530/г), поліненасичених жирних кислот в олії – ω -6 лінолевої SGI 7024, UA 0800645 (52,50–54,410 %), ω -3 ліноленової – UA 0800645 (5,39 %).

Одержано новий гібридний матеріал для впровадження в селекційний процес голозерного ячменю харчового напряму використання. Зокрема, в результаті рекомбінації генів при схрещуванні зразків Ноем / SGI 7024 було одержано новоутворення, які належать до невідомих, досі не описаних різновидів: шестирядні з блакитним та оранжевим зерном.

Визначено кращі для селекції високопродуктивних сортів голозерного ячменю з кольоровим зерном материнські компоненти для схрещування – Віолет 18-1207, Mebere, UA 0805462, батьківські – Віолет 18-1207, UA 0800663, SGI 7024, Явір.

Лінії невідомих різновидів SBSP-119 – шестирядна з блакитним зерном та SP-152C – шестирядна з оранжевим зерном передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою розширення генетичного різноманіття ярого голозерного ячменю.

Лінію NNG 24-349 v. *nigrinudum* передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю з кольоровим зерном харчового напряму використання як джерело дуже високого вмісту білка (18,76 %), фенольних сполук (0,95 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,088 D530/г), поліненасичених жирних кислот лінолевої (54,41 %) і ліноленової (5,50 %) та високої посухостійкості.

Лінію GG 24-127 v. *viride* передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю з кольоровим зерном харчового напряму використання як джерело дуже високого вмісту білка (19,49 %), крохмалю типу ваху, високого вмісту фенольних сполук (1,40 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,116 D530/г) та мононенасиченої олеїнової жирної кислоти (18,41 %).

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто проведено польові та селекційні дослідження, статистичну обробку експериментальних даних, проаналізовано та узагальнено літературні джерела та результати досліджень, підготовлено наукові публікації та рукопис дисертації.

Результати дослідження апробовано на засіданнях селекційної секції вченої ради Інституту рослинництва імені В.Я. Юр'єва НААН (Харків, 2022–2026 рр.) та наукових і науково-практичних конференціях.

У наукових працях, опублікованих у співавторстві, частка авторства складає 10–50 % і полягає в одержанні експериментальних даних, узагальненні результатів дослідження, написанні тексту. З них використано в дисертації лише особисті розробки. Частка авторства у створених лініях ячменю складає 15 %.

Апробація матеріалів дисертації. Матеріали та основні положення дисертації було щорічно обговорено на засіданнях вченої ради Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН у 2023–2026 рр., оприлюднено в науковому журналі Food Science & Nutrition Technology (США, 2023 р., Т. 8, № 3); на 14 Міжнародних і Всеукраїнських науково-практичних і наукових конференціях: II Міжнародній науково-практичній конференції «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети», 24 березня 2023 р. Одеса, ІКОСГ; 4th International Science and Practical Internet conference «Ways of Science development in modern crisis conditions», June 8–9, 2023, Dnipro; Науково-практичній конференції «Продовольча та екологічна безпека України: проблеми та шляхи їх подолання», 12 жовтня 2023 р. Київ, Інститут агроєкології та природокористування НААН; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва», 29–30 листопада 2023 р. Харків, ДБТУ; VII Міжнародній науково-практичній конференції «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур», 21–22 листопада 2023 р. Дніпро, ДДАУ; II Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва

сільськогосподарських культур», 29 березня 2024 р. Полтавський ДАУ; Materialele conferenței Științifico-practice cu participare internațională, dedicată a 80 ani de la fondarea ICCS «Selecția», 13–14 iunie 2024, Republica Moldova, Bălți; XXV Міжнародному науково-практичному форумі «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу», Львів, Дубляни. 2–4 жовтня 2024 р.; Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Сучасні технології в рослинництві», м. Харків, 27–28 листопада 2024 р.; V Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Досягнення та концептуальні напрями розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі», 10 квітня 2025 р., с. Олександрівка, Дніпропетровської обл., ІОБ; Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Інноваційні технології в рослинництві», Дубляни, Львівський НУВМБ, 30 квітня 2025 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів», НУБіП України, м. Київ, 22–23 травня 2025 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасного землеробства, рослинництва і тваринництва», с. Оброшине, 25 червня 2025 р.; Міжнародній науково-практичній інтернет конференції молодих учених та спеціалістів «Теоретичні засади інноваційного розвитку рослинництва», ІР ім. В.Я. Юр'єва НААН, 20 жовтня 2025 р., Харків.

Публікації. Основні положення дисертації висвітлено в чотирьох статтях у збірниках наукових праць та наукових журналах категорії Б, одній статті у закордонному науковому виданні (США), 14 тезах доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота містить анотацію (українською та англійською мовами), зміст, вступ, п'ять розділів, висновки, практичні рекомендації, список використаних джерел (280 найменувань, з них 243 латиницею), 15 додатків. Дисертацію викладено на 206 сторінках комп'ютерного набору, у тому числі основного тексту – 112 сторінок. Роботу ілюстровано 18 таблицями та 33 рисунками.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН СЕЛЕКЦІЇ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЮ

ХАРЧОВОГО НАПРЯМУ ВИКОРИСТАННЯ

(ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Концепція державної політики України передбачає заходи, спрямовані на збереження здоров'я та працездатності населення, подовження тривалості й поліпшення якості життя громадян [1]. Пріоритетною проблемою можна вважати створення принципово нових сортів та гібридів, технологій, глибокої комплексної переробки сільськогосподарської сировини у продукти високої якості, які мають оздоровчий вплив на організм людини, забезпечують профілактику аліментарно-залежних станів і захворювань [1, 2, 3].

«Ячмінь може допомогти людям пережити зміну клімату та глобальне потепління» (Стефанія Грандо, головний селекціонер ячменю в ICARDA) [4].

Україна є одним з провідних експортерів зерна ячменю в світі, але важливою проблемою на шляху покращення її позицій на світовому ринку є нестабільність обсягів виробництва зерна ячменю за роками, що в першу чергу зумовлено значною чутливістю сучасних сортів до погодних флуктуацій. Сільськогосподарське виробництво потребує високоадаптивних сортів ячменю, з високою врожайністю та якістю продукції. Ячмінь займає найширшу екологічну зону серед основних зернових культур, тим самим створюючи високий потенціал для адаптивного генетичного різноманіття до різних факторів навколишнього середовища. Для реалізації цього потенціалу необхідним є дослідження стресостійкості разом з глибоким розумінням фізіологічної основи багатьох агрономічних ознак, зокрема ефективного використання води та поживних речовин [5].

Ячмінь має унікальні дієтичні властивості та є одним з найбагатших джерел фенолових сполук серед зернових культур. Останнім часом зростає зацікавленість зерном ячменю як сировиною для продуктів дієтичного харчування. Такі продукти знижують вміст холестерину в крові, регулюють

глікемічний індекс, виявляють антиоксидантну активність. Вважається, що таким чином вони можуть бути складовою профілактики розвитку цукровому діабету, серцево-судинних та онкологічних захворювань. У 2006 р. Адміністрація США з питань харчів та лікарських засобів (US FDA) віднесла зерно ячменю до продуктів, які знижують ризик коронарної хвороби серця, тобто до продуктів функціонального харчування. Поняття «продукти функціонального призначення» як ті, що мають лікувально-профілактичний вплив на людський організм, тобто, окрім енергетичної цінності забезпечують нормальне фізіологічне функціонування систем людини з'явилося в Японії, де у 1991 р. законодавчо прийнято вимоги до виробництва харчових продуктів зі специфічною лікувальною дією FOSHU (Food of Specific Health Use) [5, 6, 7]. Ця програма стала прообразом для подібних програм у Німеччині, Франції, Фінляндії, Швеції, США, Канаді, Китаї, Кореї та багатьох інших країнах. [5, 6, 7, 8, 9]. На цей час сформовано галузь наукових досліджень ROS (Reactive Oxygen Species) з метою запобігання шкідливому впливу техногенних чинників на організм людини; SOLFIBREAD project – названий як «β-глюкани ячменю та арабіноксилани пшениці у технологіях використання розчинної клітковини для виготовлення хлібопродуктів, що поліпшують здоров'я»; Нова Зеландія – CerogenTM (продукти з високим вмістом β-глюканів), Канада – AIM (AIM Barley Life Family), Австралія – Melrose (продукт Organic Barleygrass). FDA (Food and Drug Administration) та Health Canada рекомендують для щоденного вживання 3г β-глюканів як ефективну денну норму для зниження вмісту шкідливого холестерину. Існують також спеціалізовані видання: NBFC (National Barley Foods Council) – США, Food preparation from hulless barley – ICARDA та ін.

Відомо, що найбільша кількість сполук з антиоксидантною активністю зосереджена в периферійних шарах зернівки ячменю [10, 11, 12]. Але при виготовленні продуктів з плівчастого ячменю під час шліфування із зерна видаляється частина цінних для здоров'я нутрієнтів. Тому все більшу увагу

виробників привертає голозерний ячмінь, у якого за відсутності операції шліфування всі цінні компоненти зберігаються в зерні та продукції, виготовленої з нього.

Селекція голозерних сортів ячменю є перспективною для України, так як впровадження таких сортів у сільськогосподарське виробництво сприятиме вирішенню продовольчої безпеки, а саме – забезпечить населення поживними, функціонально корисними та економічно доступними продуктами харчування. Створення та впровадження у виробництво голозерних сортів ячменю з кольоровим зерном можливе як нішевої культури для виробництва обмеженої кількості харчової продукції спеціального призначення – профілактичного, дієтичного чи дитячого харчування [13]. Водночас вирощування голозерного ячменю з кольоровим зерном може сприяти розвитку малого бізнесу в сільських громадах України, як з вирощування, так і з переробки кольорового ячменю. У світі подібна продукція користується широким попитом, особливо у високорозвинутих країнах (США, Канада, Євросоюз, Австралія, Японія, Китай та інші) та у країнах, де голозерний ячмінь є традиційною харчовою культурою (країни Північної Африки, Ефіопія, Близький Схід, Непал та інші), тому така продукція є експорторієнтованою та може приносити значні прибутки. Все це сприятиме зростанню достатку громадян України та має особливе значення для повоєнного відновлення.

1.1 Історія одомашнення ярого ячменю та значення культури ячменю для забезпечення продовольчої безпеки.

Ячмінь з часів неоліту відомий як одна з основних культур землеробства [14, 15]. Найдавніші докази використання дикорослого ячменю знайдено в регіоні південного узбережжя Галілейського моря (Палестина) ~ 17 000 років до н.е. [16]. Перші сліди одомашнення ячменю ~10 тис. років до н.е. знайдено у Родючому Півмісяці, який є основним місцем походження

пращура ячменю культурного – *Hordeum vulgare* ssp. *spontaneum* C. Koch [17, 18]. З Малої Азії ячмінь потрапив до Європи у IV–III тис. до н.е.

Дворядний ячмінь є більш давньою формою, ніж шестирядний, тому останній був одомашнений пізніше. В Європі обидва морфотипи були відомі в Греції між 6000 і 4000 років до н.е., а в центральній і південній Європі культивування ячменю не відоме аж до 1000 року н.е. Вважається, що дворядний ячмінь було занесено з Близького Сходу в Європу хрестоносцями [19, 20, 21, 22].

Існують припущення, що основним центром культивування ячменю була ізраїльсько-йорданська зона, як альтернатива – Східний Родючий Півмісяць, Африканський Ріг, Марокко та Тибет [23, 24, 25, 26, 27, 28]. Зокрема, дослідники припускали незалежні лінії одомашнення на Схід та Захід від Родючого Півмісяця, їх було розділено горами Загрос (Zagros Mountains) [25, 29]. Результати нових досліджень на основі молекулярної генетики свідчать на користь гіпотези про поліцентричне походження ячменю [30, 31], а його батьківщиною Родючий Півмісяць на Близькому Сході, на території сучасних Ізраїлю, Лівану, Сирії, Іраку, Ірану та Туреччини [32, 33, 34].

У Східній Європі, в тому числі на території сучасних України та Молдови, вже в III тисячолітті до н.е. у трипільській культурі землеробство було розвинутим, а ячмінь та пшеницю вирощували на цій території ще в дотрипільську епоху в IV–III тисячоліттях до н.е. [35, 36].

Селекцію ячменю в Європі було розпочато в Баварії, Моравії, Швеції, Великобританії. Початком було створення методом добору з місцевих сортів сорту Chevalier у Великобританії та ранньостиглих Isaria (1924), Kenia (1931). У наш час в європейській селекції найбільшу частку займають сорти для пивоварної промисловості, це є спрямованістю низки потужних компаній. В Україні задачі з генетики та селекції ячменю вирішують учені установ мережі НААН, значних успіхів досягли в Селекційно-генетичному інституті–Національному центрі насінництва та

сортівивчення (СГІ-НЦНС), IP ім. В.Я Юр'єва (IP), Миронівському інституті пшениці (МІП), Носівській дослідній станції (Носівська ДП), Інституті сільського господарства Степу (ІСГ Степу), Донецькій дослідній станції (Донецька ДС). Останнім часом актуальним стає створення сортів харчового напрямку використання, в тому числі голозерних. В Україні на цей час створено харчові голозерні сорти Ахіллес, Козацький, Гатунок, Гордій та інші.

Свідчення про культивування ячменю в Китаї та Індії відносяться до кінця II тисячоліття до н.е., до Японії ячмінь було інтродуковано з Китаю та Кореї [37, 38]. Широкого розповсюдження в Японії та Китаї набули голозерні харчові ячмені з округлим зерном [39]. У наш час в Японії прийнята Національна програма селекції ваху ячменю з метою розширення асортименту функціонального харчування. Зараз в Японії вирощується понад 15 т воскоподібного ячменю в рік рівень самозабезпеченості країни виріс до 49 % у 20221 р. Тепер стоїть задача з підвищення вмісту β -глюкану в зерні ячменю [40]. На американські континенти ячмінь потрапив з європейськими переселенцями [41], у наш час широко розгорнуто селекцію голозерного харчового ячменю у Канаді у трьох наукових центрах: CDC (Crop Development Centre, Saskatoon), AAFC (Brandon Research Centre), FCDC (Field Crop Development Centre, Lacombe), де створено відомі в усьому світі сорти CDC Alamo, CDC Candle, Mebere, CDC Hilose, CDC Rattan, CDC McGwire, Roseland, CDC Clear, Millhouse, CDC Ascent, Enduro, CDC Fibar, CDC Marlina, Canmore, CDC Lophy, Tercel та інші. На цей час у Канаді селекціонером Ана Бадеа вже створено сорти голозерного ячменю з фіолетовим та чорним зерном (2023–2024 pp.). Вони мають підвищений вміст антоціанів, які є потужними антиоксидантами [42].

У США ведеться селекція багатоцільового голозерного ячменю, тобто придатного як для виробництва харчової продукції, так і для солодощів, тому метою є середній вміст β -глюканів. Відома

програма Університету штату Орегон (OSU), спрямована на створення сортів, придатних для цільнозернової випічки та виробництва іншої продукції харчування, створено перспективні лінії та сорт Buck [43, 44].

В Австралії теж розпочато селекцію голозерного кольорового ячменю. Шляхом гібридизації австралійського сорту Hindmarsh (жовте зерно) та дикої лінії W1 (чорне зерно) одержано лінії з різним забарвленням [45].

На Близькому Сході та в Північній Африці культивування ячменю як харчового продукту має дуже давню історію, для харчування традиційно віддають перевагу сортам з чорним та коричневим зерном. Пивоварні сорти тут не вирощуються з релігійних уподобань. Зокрема, у Марокко встановлено найбільше споживання ячменю на душу населення. В Єгипті зосереджено велике генетичне різноманіття ячменю завдяки місцевим сортам, відомим як сорти бедуїнів (Bedouin variety) [46]. Для Ефіопії та Еритреї ячмінь є одним з найважливіших продуктів харчування, ячмінь вирощували тут уже в 3000 р. до н.е. [46]. Генетичне різноманіття ячменю дуже велике, вирощуються 11 різних типів, від вологолюбивих ландрасів, здатних переносити заболочування, до посухостійких [47]. Зерно цих ландрасів також має різне забарвлення: жовте (Demhay), біле, сіре (Yeha), коричневе (Yeha, Dessie), зелене (Demhay), чорне (Demhay, Kontsebe, Tsellimo, Dessie) [39].

Таким чином, ячмінь є давньою та займає найширшу екологічну зону серед основних зернових культур у сучасному землеробстві, чим створює високий потенціал для адаптивної селекції на стійкість до різних факторів навколишнього середовища. Широкий ареал вирощування ячменю зумовлюється його невибагливістю та високою пристосованістю до умов середовища.

1.2 Параметри якості зерна голозерного ячменю, в тому числі з кольоровим зерном та його значення для виготовлення продукції здорового харчування

Селекція сільськогосподарських культур на якість продукції залежить від використання кінцевого продукту. Першим етапом селекції сільськогосподарських культур на якість є пре-бридинг (pre-breeding) [48], тобто визначення ключових ознак та біохімічних складових, які детермінують потрібну якість та за можливості – визначення морфологічних маркерів цих ознак, виділення джерел та донорів з цінними властивостями.

Особливістю селекції харчового ячменю є те, що окрім високих показників урожайності та продуктивності, харчовий сорт обов'язково має характеризуватися високою якістю зерна. Одними із складових якості є вміст білка, крохмалю, олії, клітковини, фенольних сполук, флавоноїдів, інших нутрієнтів у зерні ячменю. До того ж, такий сорт повинен мати високу антиоксидантну здатність. Джерелами антиоксидантної активності є β -глюкани, феноли, вітаміни та ін., при цьому доречно враховувати, що вся антиоксидантна активність фенольних сполук зосереджена в периферійних шарах зернівки, тому при виготовленні продуктів з плівчастого ячменю під час шліфування із зерна видаляється частина цінних для здоров'я нутрієнтів. Тому все більшу увагу виробників привертає голозерний ячмінь, у якого за відсутності операції шліфування всі цінні компоненти зберігаються в зерні та продукції, виготовленої з нього.

Харчові сорти мають відповідати ряду особливих вимог: високий вміст білка (>13 %), крохмалю (>60 %) зі звичайним або зміненим складом – високоамілозний (high amylose) або амілопектиновий (waxy), високу антиоксидантну активність, олію з високим вмістом поліненасичених жирних кислот (ω -3 ліноленової не менше 5,5 %), високий вміст дієтичної клітковини, β -глюканів, фенольних сполук, антоціанів та інших антиоксидантів, що є дуже важливим для виготовлення дієтичної продукції.

Ячмінь використовують для виробництва продуктів харчування як у чистому вигляді, так і в сумішах з іншими культурами [44, 49, 50, 51, 52].

Білки ячменю. Білки, неможливо замінити іншими речовинами, вони належать до незамінних, есенціальних речовин, тому мають надзвичайно важливе значення для організму людини. Вміст білка в зерні ячменю змінюється в широких межах – від 7 до 25 % а залежить від генотипу і умов вирощування. Найбільша частка білків міститься у зародку – 26–36 % білка, в ендоспермі – 8–14 %, а в плівці – 7–10 % [53]. Білки ячменю складаються з різних фракцій, кожна з яких має унікальні властивості та функціональність: розчинні у воді альбуміни, солерозчинні – глобуліни, спирторозчинні – проламіни (гордеїни), у розчинах луку – глютеліни [54, 55]. Серед них найбагатшими за вмістом незамінних амінокислот (НАК) є альбуміни, гордеїни значно уступають альбумінам та глобулінам за вмістом НАК. З восьми НАК у харчовому значенні особливо важливими є лізин, триптофан, метіонін та треонін.

Широкі дослідження з селекції сортів ячменю для функціонального харчування проводять і в Україні. Так, було встановлено, що вміст білка у голозерних зразків завжди є вищим (17,14–21,06 %), ніж у плівчастих (12,5–14,05 %), а фракція розчинних білків у крупі з голозерних сортів була вищою, ніж у комерційній крупі. В посушливих умовах вміст білків розчинної фракції підвищується [13, 56]. Також сорти ячменю відрізняються за фракціями В, С і D гордеїнів [57, 58].

В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН було встановлено, що вміст білка в зерні залежить від умов вирощування та від генотипу. Відмічено негативну залежність вмісту білка від вологозабезпеченості. За компонентами генетичної дисперсії встановлено, що в контролі вмісту білка переважають домінантні ефекти генів [59, 60]. Це узгоджується з чисельними даними інших дослідників, які одержали аналогічні результати щодо істотного впливу середовища на вміст та якість білка [13, 56, 58, 61, 62, 63].

Також в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН було визначено біологічну цінність ячмінного білка за перетравлюваністю травною системою людини та встановлено донорів високого рівня перетравлення білка протеолітичними ферментами – сорти селекції IP ім. В.Я. Юр'єва Парнас та Явір (69,80–74,20 мг тирозину на 1 г білка) [64]. Існує думка, що найвищим вміст білка є в чорнозерному ячмені [65].

Ячмінний білок використовують у різних галузях промисловості, а в харчовій – як функціональний інгредієнт у хлібові, макаронних виробках, злакових батончиках, напоях та аналогах м'яса. Він забезпечує текстуру, структуру та харчову цінність рецептурам продуктів та сприяє якості продукту і сенсорним властивостям.

Таким чином, у селекції широко проводять дослідження із залежності вмісту білка від умов вирощування та генотипу, але єдина думка щодо білковості різних за плівчастістю та рядністю ячменю відсутня.

Дослідження вмісту та якості крохмалю в зерні ячменю. Крохмаль визначає харчові та технологічні властивості ячменю, так як є основним компонентом зерна і складає понад 70 % сухої маси [66, 67]. Загальний вміст крохмалю може змінюватися від 45 % до 72 % [68, 69, 70].

Крохмаль ячменю складається з двох форм полісахаридів: амілози і амілопектину. Амілоза складається з лінійних глюкозних одиниць, зв'язаних α -1,4-глікозидними зв'язками, тоді як амілопектин є розгалуженим полімером з α -1,4 і α -1,6- глікозидними зв'язками. Співвідношення амілози та амілопектину в крохмалі ячменю впливає на його фізико-хімічні характеристики та залежить від генотипу [71, 72, 73, 74, 75].

За співвідношенням амілопектин / амілоза ячмінь поділяють на три групи: waxу з низьким вмістом або повною відсутністю амілози в крохмалі (low amylose), звичайний склад крохмалю зі співвідношенням амілопектин : амілоза 3:1 (standard), високоамілозний (high-amylose) [76, 77, 78, 79].

Різними вченими в усьому світі проводяться дослідження властивостей ячмінного крохмалю [80, 81, 82, 83, 84, 85]. Рecessивний алель гена *wax*

практично повністю блокує біосинтез амілози, її вміст змінюється від норми 20–25 % до 0–5 %. Серед світового асортименту ячменю виявлено два функціональних алеля гена *Wax* та один нуль-алель, або алель *wax* [86, 87]. Ген *wax* локалізовано у хромосомі 1 (7Н). Домінантний ген *Wax* відповідає генотипу з нормальним (3:1 – амілопектин : амілоза) складом крохмалю [8, 86, 88, 89].

Китайськими вченими в ячменю з плато Qinghai-Tibet виявлено широку мінливість гена *Wax*, що є корисним для створення нових сортів зі зміненим складом крохмалю [90]. До того ж, ген *wax* обумовлює підвищення вмісту потужних антиоксидантів β -глюканів у зерні голозерного та плівчастого ячменю в середньому від 4,85 % до 6,1 % [91, 92].

Співвідношення амілози та амілопектину в крохмалі можна змінити генетичним шляхом, це впливає на функціональні характеристики шлунково-кишкового тракту та як наслідок – підвищує харчову цінність зерна ячменю. Ячмені *wax* у порівнянні зі звичайними мають підвищений вміст розчинної клітковини у вигляді β -глюканів на 40 %, а олії – на 25 % більше, ніж звичайний [13].

Зараз створено сорти, у крохмалі яких міститься 95–100 % амілопектину (ячмінь *wax*) або 40–70 % амілози (високоамілозний ячмінь) [87, 90, 81, 93, 94, 95, 96]. Але чеськими вченими встановлено, що генотипи з *wax* крохмалем мають істотно нижчу врожайність (4,9 т/га) та масу 1000 зерен (4,30 г) у порівнянні зі зразками зі звичайним крохмалем (5,7 т/га та 4,38 г відповідно) [97].

В Україні ведуть селекцію голозерного харчового ячменю зі зміненим складом крохмалю, створено перші сорти з відповідною якістю, придатні для виготовлення борошна, крупи, лапші, макаронів, пластівців та напоїв. Джерелом гена *wax* були комерційні голозерні сорти канадської селекції CDC Alamo, CDC Candle, Mebere [13, 98] та лінії із США **UA 039699, UA 039701, UA 039748** [99, 100]. Продукти, виготовлені з ячменю з крохмалем *wax*, мають особливості, так, тортільї з такого ячменю краще розкочуються і

мають меншу ламкість, тому для виготовлення борошна для тортилій і такої рекомендовано використовувати ячмінь з ваху крохмалем [101].

Чеські вчені встановили, що голозерний ячмінь з геном *waxy* має високу дієтичну цінність, оскільки містить значно більше корисних для здоров'я людини β -глюканів, ніж звичайний ячмінь. Тому для селекції голозерного харчового ячменю цінним є наявність в одному генотипі рецесивних генів *nud* та *waxy* та важливо контролювати одночасно спадкування обох генів [102]. Вітчизняними вченими доведено стабільно високу, незалежно від умов вирощування, антиоксиданту активність голозерного сорту з амілопектиновим крохмалем CDC Alamo [98].

Також китайські вчені встановили, що вміст резистентного крохмалю залежить від генотипу, а кореляційний аналіз показав, що вміст резистентного крохмалю істотно позитивно корелював з вмістом амілози, але негативно – з вмістом β -глюкану [103]. Аналогічні результати одержано в інших дослідженнях, де амілоза позитивно корелювала з низькою здатністю до утворення гелів ($r = 0,60$), температурою утворення гелів ($r = 0,90$) та резистентним крохмалем ($r = 0,80$). Сорти з крохмалем ваху показали більш високу здатність до утримання вологи, в'язкість та швидку засвоюваність у порівнянні з нормальними та високоамілозними сортами [104].

Таким чином, створення сортів ячменю з високим вмістом крохмалю в зерні, особливо зі зміненим співвідношенням амілопектин / амілоза є актуальним у виробництві продукції здорового харчування.

Результати досліджень фізіологічно активних компонентів антиоксидантної активності (АОА) ячменю.

Зернові продукти є джерелом фізіологічно активних компонентів, необхідних для здоров'я людини – вітаміну Е, фолієвої кислоти, фенольних сполук, каротиноїдів, фітинової кислоти та мінералів – цинку, заліза, селену, міді, марганцю. Вважається, що найбільш сильними антиоксидантами є флавоноїди та фенольні кислоти – похідні бензойної та коричної кислот, за

ними – вітаміни Е, С, каротиноїди, тому антиоксидантна активність істотно корелює з вмістом поліфенолів [23, 105, 106, 107, 108, 109].

Чисельними дослідженнями встановлено, що вміст фенольних сполук залежить від генотипу та умов середовища, цей показник може широко варіювати [10, 110, 111, 112, 113]. Китайськими вченими досліджено антиоксидантну активність та маркери вмісту фенолів у культурних та тибетських генотипів (цинке) ячменю та встановлено, що вони відрізняються за маркерами фенолів [114]. Існує різні думки щодо взаємозв'язку вмісту фенольних сполук та забарвлення зернівок. Одні вчені вважають, що найвищим вміст поліфенолів та їх антиоксидантна активність є у чорнозерного ячменю [65], інші – що у фіолетового [109]. Основними фенольними кислотами у синьому ячмені є поліфеноли коричневої кислоти, тоді як в чорному, жовтому і фіолетовому – бензойної. Основними типами флавоноїдів у чорному і синьому ячмені є халкони і флавоноли відповідно, тоді як у жовтому і фіолетовому – флавонол. Волошковий пігмент 3-глюкозид був основним антоціаніном у жовтому, синьому і фіолетовому ячмені, в чорному – дельфінідин-3-глюкозид. У підсумку було доведено, що всі кольорові ячмені містять велику кількість фенольних сполук, мають хорошу антиоксидантну дію та інгібуючу активність α -глюкозидази [114, 115]. В інших дослідженнях повідомляється, що загальний профіль антоціанів ячменю включає мальвідини, дельфінідин, ціанідин, петунідин, антоціанідин (усього 77 %), а 23 % складала неідентифіковані антоціани [116]. Тобто, кольоровий ячмінь є антиоксидантним і глікемічним продуктом харчування. Серед них особливо виділяються поліфеноли, виділені з фіолетового та антоціани з чорного ячменю [114].

Фенолові сполуки в ячменю зосереджені в периферійних шарах зернівки, тому переробники звертають увагу на голозерний ячмінь з метою уникнення видалення цінних для здоров'я нутрієнтів під час шліфування [13].

Доведено, що поживний та фітохімічний склад зерна залежить від генотипу, чинників середовища, технології вирощування, а загальна кількість фенолів може варіювати від 4810 до 6760 мкг/г у залежності від сорту та тривалості вегетації [69].

Темне забарвлення зернівки ячменю свідчить про багатий вміст антоціанів, які поряд з фенольними сполуками теж є потужними антиоксидантами [114, 115]. Вміст антоціанів підвищується на стадіях наливу зерна, що викликає його забарвлення. Досліджено біосинтез антоціанів та його регуляторні механізми та встановлено, що експресія гена *HvMYC2* сильно корелює з вмістом антоціанів та генами їх біосинтезу, водночас цей ген може бути позитивним регулятором холодостійкості тибетського ячменю [115].

Уміст антоціанів може істотно змінюватися в залежності від кольору зернівки, типу (плівчастий чи голозерний) та умов середовища [117, 118]. У чорного ячменю антоціанів більше, ніж у фіолетового. У жовтому ячмені будь-які пігменти відсутні, а фіолетовий та синій ячмінь накопичують антоціани в перикарпі та алейроні відповідно. Також можливим є одночасне накопичення антоціанів в обох цих шарах – колір такого зерна стає більш інтенсивним [117]. Іншої думки щодо вмісту пігментів у жовтому ячмені дотримуються китайські вчені, які при порівнянні рівня антоціанів у ячменю з жовтим зерном Kunlun 10 та з фіолетовим Nierumuzha виявили, що у фіолетовому ячмені рівень антоціанів є значно вищим [119].

За допомогою дисперсійного аналізу було встановлено істотні ефекти генотипу та середовища на всі вивчені ознаки: загальний вміст антоціанів, амілози, крохмалю, β -глюканів, жирних кислот та білка, що вказує як на генетичний, так і на екологічний вплив. Але вплив взаємодії генотип/середовище був незначним, що вказує на стабільність генетичних показників у різні роки [61]. Іншими дослідженнями було встановлено адаптивну роль фенольних сполук, так як їх вміст збільшується в несприятливих для ячменю умовах вирощування [120].

Існують також дані щодо вищої антиоксидантної активності блакитнозерних ліній у порівнянні з фіолетовими. Це пояснюється антоціанами ліній з блакитними зернівками, серед яких найвища АОА та інгібуючий ефект на перекисне окислення ліпідів мають похідні дельфінідину, які містяться в блакитних зразках [121].

Вивчаючи метаболомічний профіль п'яти голозерних зразків, китайські вчені дійшли висновку, що кольоровий ячмінь є високоякісним ресурсом зародкової плазми, багатий на поживні речовини – білок, β -глюкан, флавоноїди, амінокислоти, вітаміни, мікроелементи та харчові волокна. Було виявлено значні відмінності між зразками з кольоровими зернівками та білими. Чорні, сині та фіолетові зразки, багаті природними антиоксидантами, було визначено як перспективні інгредієнти для розробки функціональних харчових продуктів на основі злаків [122].

Фізіологічно активні речовини ячменю β -глюкани і токоли (токофероли та токотриеноли) також є потужними складовими антиоксидантної активності [13]. Некрохмальні полісахариди β -глюкани є головною складовою стінок клітин ендосперму ячменю, вони знижують вміст холестерину крові, надають профілактичну дію раковим захворюванням [123, 124, 125]. Ячмінь містить β -глюканів більше, ніж інші зернові культури – від 3 % до 6 %. У пшениці, вівса, жита вміст β -глюканів складає 0,6 %, 3,9 % та 2,5 % відповідно [126, 127, 128]. Доречно відмітити, що фіолетовий ячмінь має вміст біодоступних фенолів на рівні фіолетової пшениці, але його АОА є значно вищою [129].

Доведено, що ячмінь з крохмалем ваху містить β -глюканів значно більше, ніж ячмінь зі звичайним складом або високоамілозний [130], при цьому голозерний ячмінь у порівнянні з плівчастим теж має підвищений вміст β -глюканів, які також називають дістичною клітковиною [131, 132, 133].

Чисельні дослідження свідчать про профілактичну дію (1-3, 1-4)- β -глюканів на зниження рівня холестерину та цукру в крові, серцево-судинні

захворювання, діабет, рак, надмірну вагу та посилюють імунітет [52,134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145].

При порівнянні сортів і ліній зі звичайним та ваху крохмалем за вмістом β -глюканів було одержано неоднозначні дані – цей показник істотно підвищувався у більшості зразків, але у деяких установлено зниження цього показника [146].

Вітчизняними вченими при дослідженні антиоксидантної активності ячменю за допомогою DPPH було встановлено, що у голозерні зразки істотно переважають плівчасті за вмістом білка, β -глюканів, олії та за рівнем загальної антиоксидантної активності [147].

Канадські вчені при дослідженні властивостей голозерного ячменю встановили, що вміст білка, β -глюканів та фенолів варіює в залежності від умов вирощування. При цьому концентрація β -глюкану негативно корелювала ($r = -0,43$) з вмістом крохмалю. Вміст білка не мав істотної кореляції з урожайністю, позитивно корелював з антиоксидантною активністю ($r = 0,60$), але негативно – з вмістом фенолів ($r = -0,91$). Вміст фенолів негативно корелював із вмістом білка ($r = -0,91$) та антиоксидантною активністю ($r = -0,64$), що пояснюється великою різницею між вмістом фенолів за роками, так як негативна кореляція зникла при аналізі за кожен рік окремо [148].

Ще одними складовими загальної антиоксидантної активності ячменю є вітаміни, серед них вітамін Е. В природі існують вісім лізоформ цього вітаміну – α -, β -, γ -, δ -токоферолі та α -, β -, γ -, δ -токотриєноли, їх загальна назва токоли. Токотриєноли мають потужні антиоксидантні, протизапальні, нейропротекторні властивості, які не є властивими токоферолу [149, 150]. Методом хроматографії у ячменю знайдено α , β , γ , ϵ , η -ізомери токоферолів, переважаючим є α -токоферол. Вміст вітамінів, як і інших поживних компонентів, залежить від генотипу та умов вирощування.

Вивченню токолів як попередників жиророзчинного вітаміну Е присвячено чисельні дослідження, так як токоли визначають значну частку

АОА. Вміст токолів корелює з вмістом олії в зерні [13, 151, 152], зокрема α -токоферол є ефективним антиоксидантом. Профіль токолів характеризується переважанням токотриенолів над токоферолами, при цьому α -токотриенол складає 53,03 % від загальних токолів, а найвищий його рівень установлено в блакитнозерних зразках [153].

Латвійськими вченими встановлено, що вміст загальних поліфенолів та α -токоферолу в зерні плівчастого ячменю є вищим, ніж у голозерних, але щодо вмісту олії результати були неоднозначними в залежності від генотипу. Було лише відмічено значний вплив генотипу, а помітного впливу умов вирощування не встановлено [154].

Позитивну кореляцію між ізомерами вітаміну Е α -токоферолами та α -токотриенолами встановлено багатьма вченими [12, 155, 156]. Дослідження мінливості токоферолів та токотриенолів у залежності від різних чинників було проведено і в інших дослідженнях та було встановлено залежність їх вмісту переважно від генотипу [157, 158, 159, 160, 161, 162, 163].

Основним поставником вітаміну А є каротиноїди, прекурсори вітаміну А, які не синтезуються людським організмом. Найбільшу частку в каротиноїдах складає лютеїн (86 %), далі – зеаксантін (10 %) та α -каротин (3,40 %). У зернівках ячменю лютеїну міститься біля 3–4 мг/г. Вітамін А надає профілактичну дію проти оксидативного стресу, серцево-судинних та онкологічних захворювань [153].

Складовою дієтичної цінності зерна ячменю є ліпіди. Їх вміст у ячменю низький та у середньому складає біля 3,0 % [164]. У дослідженнях вітчизняних вчених вміст олії у зерні сортів і ліній ярого ячменю складав 2,01–3,24 %, озимого – 1,59–2,63 % [13, 56]. В інших дослідженнях було встановлено, що вміст олії у зразків з ваху-крохмалем був істотно вищим, ніж у зразків із звичайним крохмалем; головними жирними кислотами олії ячменю є поліненасичена лінолева (52,14–58,00 %), насичена пальмітинова (19,75–23,25 %), мононенасичена олеїнова (12,93–19,14 %) та поліненасичена ліноленова (4,96–6,73 %). Виділено голозерні сорти ячменю з високим

вмістом в олії поліненасиченої ω -3 ліноленової кислоти – Гатунок та Оскар та лінолевої – CDC Candle [98].

Аналогічні результати отримано канадськими вченими, зокрема щодо залежності складу олії від генотипу та переважання в ній поліненасиченої (18:2) лінолевої кислоти [165]. Існують дані щодо вищого вмісту ліпідів у ячменю із синім зерном у порівнянні з чорними та жовтими зразками [65].

Найбільше ліпідів міститься в зародку (понад 19 %), далі – ендосперм (біля 2–3 %), плівка (біля 2 %). Але зародок складає лише невелику частку від загальної маси зернівки, а ендосперм – 90 %, тому на частку зародка приходить 18 % ліпідів, а ендосперму – 77 % [166].

Жирнокислотний склад ячмінної олії в порівнянні з іншими зерновими культурами містить багато корисної для здоров'я поліненасиченою ω -3 ліноленової кислоти [167]. Вміст олії в зерні ячменю залежить від генотипу, зокрема, у зразків зі звичайним складом крохмалю олії міститься 2,2–2,4 %, з ваху крохмалем – 1,9 %, у голозерних зі звичайним крохмалем – 2,7–3,9 %, у високолізинових Riso-мутантів – 4,4–5,8 %, у хімічних мутантів з Washonurana – 4,4–7,3 % [168]. Ці дані не узгоджуються з літературними даними щодо того, що генетичні чинники, які контролюють ознаку ваху, можуть бути асоційовані з генетичними чинниками, які підвищують вміст ліпідів у ячменю [13, 91, 169]. За результатами інших досліджень вміст олії в зерні ячменю складає в середньому біля 2 % [170, 171]. Існують дані про зразки з високим вмістом олії – від 3,4 % (Prilar) до 4,6 % (CI 12116) [172].

Так як вміст олії в зерні ячменю дуже невисокий, то його мінливість теж невелика і складає 2–4 %. Голозерний ячмінь, як правило, містить олії більше, ніж плівчастий [173, 98]. Вважається, що генетичне підвищення олійності зерна ячменю шляхом селекції є можливим лише до 5 %. При дослідженні в США колекції ячменю з 8 тис. зразків було виділено лише один з рекордним вмістом олії – 3,85 % [174]. В інших дослідженнях вітчизняних вчених серед колекційних зразків було виявлено високоамілозний сорт CDC Nilose, вміст олії у якого досягав рекордних

4,70 %. Виділено і інші зразки з високим вмістом олії: сорти з крохмалем waxu CDC Alamo (4,02 %) і Mebere (3,71 %) та зразки зі звичайним крохмалем UA 0805462 (3,82 %, сіро-зелене зерно) та CDC Lophy (3,7 %) [175, 176].

Якість та антиоксидантні властивості олії ячменю залежать від її складу – чим більше вона містить ненасичених жирних кислот з більшою здатністю до окислення, тим вищою є АОА. До ненасичених жирних кислот належать: олеїнова з одним подвійним зв'язком, лінолева – з двома, ліноленова – з трьома, арахідонова – з чотирма. Найбільшу частку в загальній кількості ячмінної олії має лінолева (44,8–57,5 %), далі – пальмітинова (19,0–30,4 %), олеїнова (12,2–12,9 %), ліноленова (6,9–7,9 %), стеаринова (1,1–5,2 %), міристинова (0,4–1,2 %) [175, 176, 177, 178].

Таким чином, дослідження зразків ячменю в системі пре-бридингу харчових сортів з метою виділення джерел та донорів цінних ознак, особливо тих, які визначають високий рівень антиоксидантної активності, є необхідним та водночас сприяє поширенню знань про нові властивості ячмінного зерна, корисні для виготовлення продукції здорового харчування.

1.3 Мінливість та успадкування кількісних ознак

Мінливість рівня врожайності та продуктивності в залежності від генотипу та умов вирощування, успадкування ознак продуктивності. Врожайність є кількісною ознакою та детермінується великою кількістю генів, які діють комплексно в залежності від генотипу, умов середовища та їх взаємодії [179, 180, 181, 182, 183]. Складовими врожайності є кількість продуктивних стебел на 1 м², кількість зернівок у колосі, маса 1000 зернівок. Серед них кількість зернівок в колосі та ще більше 1000 зернівок значно менше реагують на мінливість умов середовища, тому добір за цими ознаками може позитивно вплинути на рівень урожайності [184, 185]. Врожайність на 76 % детермінується сумою опадів у період від кушіння до колосіння [186, 187]. З усіх абіотичних факторів середовища найбільшої

шкоди посівам ячменю завдають посухи [188], тому в світі широко розгорнуто дослідження з посухостійкості ячменю [189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197]. Так як на врожайність дуже впливають не лише абіотичні чинники, а й антропогенні (технологічні прийоми вирощування), то при доборах цінного матеріалу доцільно керуватися рівнем продуктивності як однієї із основних складових урожайності.

Для цього необхідно визначати складові продуктивності, за якими селекціонеру буде простіше проводити бракування матеріалу навіть у польових умовах. Це мають бути ознаки з низьким коефіцієнтом варіації за роками, що дозволяє виділяти ключові (маркерні) ознаки [198, 199]. Такі ознаки є маркерними лише для конкретної зони, тому їх пошук для підвищення ефективності доборів є завжди актуальним, так як для різних умов середовища маркерними можуть бути різні ознаки.

Такої ж думки дотримуються вчені, які визначають основними компонентами продуктивності ячменю кількість зерен та вагу зерна з колоса. Вони встановили, що мінливість продуктивності в залежності від чинників середовища та генотипу була, як правило, зумовлена варіацією кількості зерен. Тому реалізація потенціалу продуктивності залежить від оптимізації умов середовища в критичну фазу визначення кількості зерен у колосі [198]. Негативний вплив дефіциту вологи на врожайність і продуктивність ячменю у фазі колосіння і наливу відмічають М.А.El-Hammed Attia et al. [199]. Іншими вченими також доведено істотний вплив на врожайність і продуктивність ячменю ваги зерна з колоса [200, 201].

У зернових культур продуктивність рослин тісно пов'язана з масою зерна з головного колоса, особливо це проявляється в несприятливих умовах середовища [204]. Враховуючи можливе потепління клімату, просування зони Степу ближче до північних регіонів України, маємо звертати увагу на показники головного колоса ячменю як важливої складової компенсаторного ефекту врожайності культури.

Вирішальне значення для розроблення цілеспрямованих стратегій селекції, які відповідають на зміну умов навколишнього середовища та попиту на сільськогосподарську продукцію має агроморфологічна характеристика колекційних зразків голозерного ячменю як вихідного матеріалу, що таким чином є цінним ресурсом для селекційних програм [205, 206]. Тим більшого значення це набуває на фоні того, що використання елітних матеріалів у селекції призвело до того, що сорти стали генетично однорідними та більш вразливими до стресів, таких як посуха та підвищені температури. Зокрема, скорочення та однорідність генофонду ячменю є викликом для створення стресостійких сортів [207, 208, 209].

За результатами дослідження впливу посухи на ячмінь Aarushi et al. [196] установили, що під впливом посухи сильно варіювали висота рослини, довжина колоса (40–60 %), тоді як кількість зерен у колосі змінювалася мало (біля 11 %). Також встановлено негативний вплив посухи на висоту рослин, вагу зерна з головного колосу, водночас було виявлено стабільність ознаки довжина колоса [210].

Висота рослини та продуктивність є складними ознаками і знаходяться під впливом чисельних генів, тому плеiotропні ефекти цих генів сприяють позитивній кореляції між цими двома ознаками [211]. Іншими дослідниками встановлено кореляцію між довжиною колоса і кількістю зерен у колосі, довжиною колоса і вагою зерна з колоса, кількістю зерен у колосі та вагою зерна з нього [202, 212]. Існує думка, що висота рослини безпосередньо пов'язана з потенціалом врожайності ячменю, так як висота позитивно корелює з довжиною колоса, кількістю зерен у колосі, кількістю триплетів колосків на колосі [207, 213].

Чисельними дослідженнями [200, 201, 212] встановлено, що максимальний вклад у продуктивність ячменю вносить маса зерна з основного колоса, статистично підтверджено тісну кореляцію між кількістю зерен у головному колосі та масою зерна з нього, продуктивністю та врожайністю сортів. З метою створення бази даних урожайності ячменю та її

компонентів, зокрема кількості зерен у колосі та маси 1000 зерен, було аналізовано наукові статті по ячменю за 25 років у чотирьох журналах – *Field Crop Research*, *European Journal of Agronomy*, *Crop and Pasture Science*. У результаті аналізу було встановлено, що кількість зерен більш тісно корелює з урожайністю (86% варіабельності врожайності) в порівнянні з масою 1000 зерен (13%) [200]. Такої ж думки дотримуються Yula V. et al. [214].

Розвиток колоса починається з диференціації і росту суцвіття та закінчується утворенням колосків і зерен, тому під час проходження рослинами відповідної фази розвитку особливо важливими є оптимальні погодні умови [215]. У ячменю кількість зерен у колосі визначається кількістю члеників стрижня, колосів на уступі стрижня, тобто рядністю колоса, та кількістю зерен на колосок [216]. Кількість зерен у колосі позитивно корелює з довжиною колоса, а довжина колоса – з висотою рослини. Таким чином, кількість зерен корелює з висотою рослини опосередковано через довжину колоса [202, 207]. Довжина колоса позитивно корелює з кількістю члеників стрижня та кількістю колосків. При цьому встановлено високу успадковуваність у широкому сенсі для всіх трьох ознак [217]. Таким чином, доведено, що ознаки, пов'язані з колосом, можуть підвищити продуктивність та врожайність ячменю [218].

Висота рослини також впливає на врожайність сорту, так як невисокі рослини з міцним стеблом успішно протидіють виляганням. З іншого боку, висота рослин пов'язана з інтенсивністю фотосинтезу і тим самим впливає на рівень врожайності та продуктивності ячменю [219].

Висота рослини, довжина колоса, кількість триплетів на колосі, кількість зерен у колосі істотно впливають на врожайність і продуктивність та пояснюють основну частину дисперсії (78 %) врожайності [207]. Зважаючи на стабільність довжини колоса та кількості стебел на одну рослину (кущистості) в різних за ступенем посухи середовищах, можна припустити їх потенціал як надійних критеріїв добору в селекції на посухостійкість [210]. В

ячменю максимальний потенціал врожайності визначають як максимальну кількість зачатків колосків на колосі [204], тобто за кількість зерен у колосі.

Дослідженню варіювання параметрів продуктивності рослин ячменю, як однієї із складових урожайності, присвячено багато робіт. Так, існують думки щодо найменшого варіювання маси 1000 зерен та кількості колосків (зерен) у колосі [202, 220, 221, 222, 223, 224]. Але є і дослідження, результати яких не узгоджуються з наведеними: найменше варіювання – у висоти рослин [225, 226, 227, 228], найбільше – у довжини колоса [229, 230, 231] та у кількості зерен у колосі [230, 232]. Але всі дослідники сходяться на тому, що найбільше варіює продуктивність, тобто вага зерна з рослини.

Таким чином, визначення мінливості продуктивності ячменю та її складових є актуальним, так як у результатах аналогічних досліджень є істотні відмінності та розбіжності.

Результати чисельних досліджень кореляції між продуктивністю рослин ячменю та її складовими різняться між собою, що доводить істотність подібних досліджень лише для певної вибірки вихідного матеріалу та для певної зони проведення експериментів, тим самим підкреслюючи актуальність аналогічних дослідів. Так, встановлено тісну кореляцію між продуктивністю та продуктивною кущистістю, продуктивністю і масою соломи, масою 1000 зернівок і масою зерна з колоса, масою 1000 зернівок і висотою рослини, висотою рослини і кількістю колосків у колосі [109, 222, 233]. В інших дослідженнях встановлено слабку позитивну кореляцію між урожайністю і масою 1000 зернівок [184]; істотну кореляцію продуктивності з продуктивною кущистістю та довжиною головного колоса [234, 235, 236]; продуктивності з масою зерна з головного колоса, масою 1000 зернівок, продуктивною кущистістю [232]; позитивну кореляцію кількості зерен у колосі з вагою зерна з колоса та його довжиною, негативну – висоти рослини з масою 1000 зерен і довжиною колоса, маси 1000 зерен – з довжиною колоса і кількістю зерен [237, 238, 239].

За допомогою шляхового аналізу встановлено прямий взаємний вплив ознак продуктивності з висотою рослини, довжиною колоса, кількістю колосків у колосі та масою 1000 зерен [202, 240]; у результаті інших досліджень було зроблено висновок про сильний прямий вплив на продуктивність кількості колосків, ваги зерна з колоса та продуктивної кущистості [241].

М.Р. Козаченко та ін. [233, 242] у дослідях установили істотну позитивну кореляцію маси 1000 зернівок з продуктивністю, але в дослідженні ячменю з крохмалем ваху було одержано протилежні результати [243].

Таким чином, висновки різних дослідників щодо кореляції елементів продуктивності ячменю відрізняються, тому подібні дослідження не втрачають актуальності для прогнозу доборів у селекції на продуктивність.

Успадкування забарвлення зернівок у голозерного ячменю.

У світі широко розгорнуто селекцію голозерного кольорового ячменю з метою створення продукції функціонального харчування, але дослідження з успадкування забарвлення зернівок ще не достатньо поширені. Зокрема, встановлено, що фіолетове забарвлення детермінується генами *Ant1* та *Ant2* [10, 244, 245], блакитне – *Blx* [118], чорне – генами *Blp* (black lemma pericarp) [45, 118, 246, 247, 248, 249]. Ген *Pre2* відповідальний за ознаку пурпурової леми та перикарпію ячменю [250].

Генетичний контроль фіолетового та чорного забарвлення зерна ячменю пов'язаний з материнським ефектом вияву генів *Blp*, тобто ознака залежить від цитоплазми матері, а не лише від генотипу насіння. Специфічні гени *Blp* на хромосомі 1Н визначають колір плівки та перикарпу зерна. Примітно, що всі зразки чорного ячменю, що походять як із Заходу, так і зі Сходу, об'єднуються в одну групу. Це вказує на те, що *Blp* ознака є відносно консервативною та, можливо, еволюціонувала з єдиного походження, яке існувало до розділення диких сортів ячменю на Близькому Сході та в Тибеті.

Але чорний ячмінь з Тибету та Східної Азії утворює окрему групу від решти чорного ячменю [45].

Фіолетову пігментацію ячменю контролюють гени *Ant1* на 7HS хромосомі зі слабкою експресією та *Ant2*, що знаходяться на 2HL хромосомі. Залежно від генетичної основи, яка контролює фіолетове забарвлення, кількісний вміст антоціанів у зерні ячменю може істотно відрізнятися [247, 251]. Хоча антоціан часто зустрічається в різних органах ячменю, генетична основа пігментації досі погано вивчена [251].

Успадкування синього забарвлення зерна ячменю має доволі складний генетичний контроль, який пов'язаний з комплементарною взаємодією генів *Ant1* та *Ant2*, що контролюють синє забарвлення, а також з триплоїдним станом алейронового шару, в якому локалізований синій колір. Вітчизняними вченими в СГІ-НЦНС розгорнуто програму селекції голозерного ячменю з кольоровим зерном, де цільовим кольором зерна є інтенсивний чорний, який має комбінувати в одному генотипі фіолетовий, синій кольори, плюс забарвлення, зумовлене фітомеланінами (кодує ген *Blp1*), та інтегрувати максимальну антиоксидантну активність зерна як харчового продукту. В ячменю на забарвлення, зумовлене антоціанінами, накладається забарвлення, пов'язане з чорними і темно-коричневими пігментами фітомеланінами. Визначений у зерні вміст лише антоціанінів часто не корелює з інтенсивністю забарвлення зерна, тому важливо визначати окремо вміст антоціанінів і фітомеланінів [252].

Вважається можливим, що зерна ячменю та інших культур набули різних кольорів у результаті адаптації до навколишнього середовища, оскільки поширені пігменти, такі як антоціани та флавоноїди, є сильними антиоксидантами та можуть сприяти стресостійкості рослин [253, 254, 255].

Щодо розщеплення в гібридних популяціях голозерного кольорового ячменю за забарвленням зерна літературних даних вкрай недостатньо. В Інституті селекції рослин (Кембрідж) були ранні дослідження на цю тему, де заявляли про два нових забарвлення зернівок ячменю – насичено синій та

тераково червоний. На їх прояв впливали умови середовища. При схрещуванні теракового та синього зразків зернівки у рослин F_1 мали ненасичений синій колір, як у материнського компонента. У F_2 розщеплення відбулося у співвідношенні 9:3:3:1 (2 насичено синій : 13 білий : 1 тераковий). Тобто, батьківські компоненти відрізнялися за двома незчепленими локусами, що визначають колір алейрону. На основі цього вчені дійшли висновку про присутність деякого рецесивного алеля, при взаємодії якого разом з обома генами, які визначають синій колір, утворюється інтенсивно синє забарвлення. А у випадку взаємодії рецесивного алеля лише з одним із згаданих генів утворюється тераковий колір. Виникнення білого забарвлення вчені пояснюють присутністю незабарвлених метаболітів [256]. З того часу вчені провели чисельні дослідження по селекції кольорового ячменю, але щодо розщеплення за кольором експериментальних даних недостатньо, це потребує ретельного вивчення, так як успадкування цієї ознаки у ячменю дуже складне.

Висновки до розділу 1.

1. Пріоритетною проблемою в селекції харчового ячменю є створення принципово нових сортів та гібридів, продукція з яких має оздоровчий вплив на організм людини, що відповідає Концепції державної політики України щодо заходів, спрямованих на збереження здоров'я та працездатності населення, подовження тривалості й поліпшення якості життя громадян.

2. Ячмінь є давньою культурою та займає найширшу екологічну зону серед основних зернових культур у світовому аграрному виробництві, чим створює високий потенціал для адаптивної селекції на стійкість до різних факторів навколишнього середовища.

3. Ячмінь має унікальні дієтичні властивості та є одним з найбагатших джерел фенолових сполук серед зернових культур. При виготовленні продуктів з плівчастого ячменю під час шліфування із зерна видаляється частина цінних для здоров'я нутрієнтів, тому все більшу увагу виробників

привертає голозерний ячмінь, у якого за відсутності операції шліфування всі цінні компоненти зберігаються в зерні та продукції, виготовленій з нього.

4. Харчові сорти ячменю мають відповідати ряду особливих вимог: високий вміст білка ($>13\%$), крохмалю ($>60\%$) зі звичайним або зміненим складом – високоамілозний (high amylose) або амілопектиновий (waxy), високу антиоксидантну активність, олію з високим вмістом поліненасичених жирних кислот (ω -3 ліноленової не менше $5,5\%$), високий вміст дієтичної клітковини, β -глюканів, фенольних сполук, антоціанів та інших антиоксидантів, що є дуже важливим для виготовлення дієтичної продукції.

5. У селекції широко проводять дослідження із залежності вмісту білка та крохмалю від умов вирощування та генотипу, але єдина думка щодо білковості різних за плівчастістю та рядністю ячменю відсутня.

6. Найбільш сильними антиоксидантами є флавоноїди та фенольні кислоти, тому антиоксидантна активність істотно корелює з вмістом поліфенолів. Установлено, що вміст фенольних сполук залежить від генотипу та умов середовища, але існують різні думки щодо взаємозв'язку вмісту фенольних сполук та забарвлення зернівок. Одні вчені вважають, що найвищим вміст поліфенолів та їх антиоксидантна активність є у чорнозерного ячменю, інші – що у фіолетового.

7. Визначення мінливості продуктивності ячменю та її складових є актуальним, так як у результатах аналогічних досліджень є істотні відмінності та розбіжності, тому необхідним є визначення критеріїв добору для конкретної зони вирощування. Це питання потребує подальшого дослідження, особливо зі створенням голозерних сортів ячменю з кольоровим зерном.

8. Установлення кореляції між ознаками продуктивності голозерного ячменю є важливими для рівня продуктивності. В різних дослідженнях дані щодо взаємовпливу елементів продуктивності ячменю відрізняються, а з голозерним ячменем з кольоровим зерном майже не досліджені. Сила та

напрям кореляції залежать як від генотипу, так і від умов середовища, тому дослідження з даної тематики не втрачають актуальності.

9. Дуже обмеженими є дослідження з успадкування забарвлення зернівок голозерного ячменю, зокрема розщеплення в гібридних популяціях, а в Україні подібні дослідження зовсім не проводилися.

10. Вважається можливим, що зерна ячменю та інших культур набули різних кольорів у результаті адаптації до навколишнього середовища, оскільки поширені пігменти, такі як антоціани та флавоноїди, є сильними антиоксидантами та можуть сприяти стресостійкості рослин. В Україні аналогічні дослідження не проводилися.

11. Селекція голозерних сортів ячменю є перспективною для України, так як впровадження таких сортів у сільськогосподарське виробництво сприятиме вирішенню продовольчої безпеки, а саме – забезпечить населення поживними, функціонально корисними та економічно доступними продуктами харчування. Створення та впровадження у виробництво голозерних сортів ячменю з кольоровим зерном можливе як нішевої культури для виробництва обмеженої кількості харчової продукції спеціального призначення – профілактичного, дієтичного чи дитячого харчування. Водночас вирощування голозерного ячменю з кольоровим зерном може сприяти розвитку малого бізнесу в сільських громадах України, як з вирощування, так і з переробки кольорового ячменю. У світі подібна продукція користується широким попитом, особливо у високорозвинутих країнах, тому така продукція є експорторієнтованою та може приносити значні прибутки. Все це сприятиме зростанню достатку громадян України та має особливе значення для повоєнного відновлення.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ, ВИХІДНИЙ МАТЕРІАЛ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Ґрунтово-кліматичні та агрометеорологічні умови проведення досліджень

Дослідження проведено в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН: польові – в науковій сівозміні, яка розташована в Харківському районі Харківської області, смт. Елітне, в 15 км. від м. Харкова, в Лісостеповій зоні (Північно-східна частина Лівобережного Лісостепу України).

Ґрунтовим покривом є глибокий середньогумусний чорнозем на лесових породах. Структура ґрунту зернисто-грудкувата, механічний склад легкоглинистий. Товщина гумусового шару понад 75 см, вміст гумусу 3,5–7,3 %, рН 5,8.

Клімат характерний для східної частини Лісостепу України, помірно-континентальний, з нестійким зволоженням. Середньорічна температура повітря складає +7,1 °С, максимальна середньомісячна температура припадає на липень місяць (+ 21,1 °С), мінімальна – на січень (до -7 °С). У першій декаді квітня відбувається перехід середньодобової температури повітря через +5 °С, тобто створюються умови для початку вегетації ранніх культур.

Середньорічна норма опадів для області становить 537 мм, але відхилення за роками є значними. Для регіону, де було проведено дослідження, цей показник складає 485,8 мм. Середня відносна вологість повітря о 13 годині складає 65 %, найнижча в травні – 43 %. Літні місяці характеризуються високою температурою повітря, частими є атмосферні посухи. Середня багаторічна температура (норма) за цей період дорівнює в червні +20,2 °С, у липні – +21,4 °С, а в серпні – + 19,6 °С. В окремі роки максимальна температура в літній період може складати понад +35 °С. Опади влітку, як правило, носять зливовий характер, супроводжуються сильними вітрами західного і північно-західного напрямку. За багаторічними даними

найбільша кількість опадів припадає на липень (71,7 мм), дещо менша кількість – у червні та серпні (63,3 та 61,7 мм відповідно).

З вересня розпочинається зниження температури повітря, середньодобова становить +14,1 °С. Опади нерівномірні, як правило, в два рази менше (34 мм), ніж в літні місяці. Перші заморозки останніми роками розпочинаються не раніше третьої, а то й четвертої декади жовтня. Зими малосніжні, з частими і тривалими відлигами, але кількість опадів в окремі роки різко відхиляються від норми.

Такі кліматичні умови впродовж вегетації рослин – з нерегулярними опадами, атмосферними посухами на фоні високих температур повітря, суховіями зумовлюють в окремі роки яскраво виражений посушливий характер, що негативно впливає на розвиток рослин ячменю.

Експериментальні дослідження за темою дисертаційної роботи охоплювали трирічний період (з вересня 2022 р. по вересень 2025 р.), упродовж якого погодні умови були дуже різними за гідротермічними показниками (рис. 2.1, додаток А) і по-різному впливали на ріст та розвиток рослин, чим зумовлювали формування різного рівня продуктивності.

Температура повітря за роки досліджень, як правило, була вищою за середню багаторічну (норму), лише у травні 2023 р. і 2025 р. та червні 2025 р. – на 0,3–1,0 °С нижчою. В травні ячмінь проходить одну з критичних фаз – кущіння, тому особливо вимогливий до умов вирощування. За температурним режимом істотно виділявся 2024 р., коли температура впродовж усього вегетаційного періоду ячменю була на 0,4–4,6 °С вищою за норму. В червні ячмінь проходить наступні критичні фази – колосіння та налив – підвищена температура повітря в 2024 році дуже негативно вплинула на рівень продуктивності та врожайності ячменю, рослини дуже постраждали, були слабо розвинуті. В липні температура була вищою за середню багаторічну на 0,6–4,6 °С. Підвищена температура повітря в цей час небезпечна тим, що викликає запал зерна і тим самим – істотне зниження врожайності.

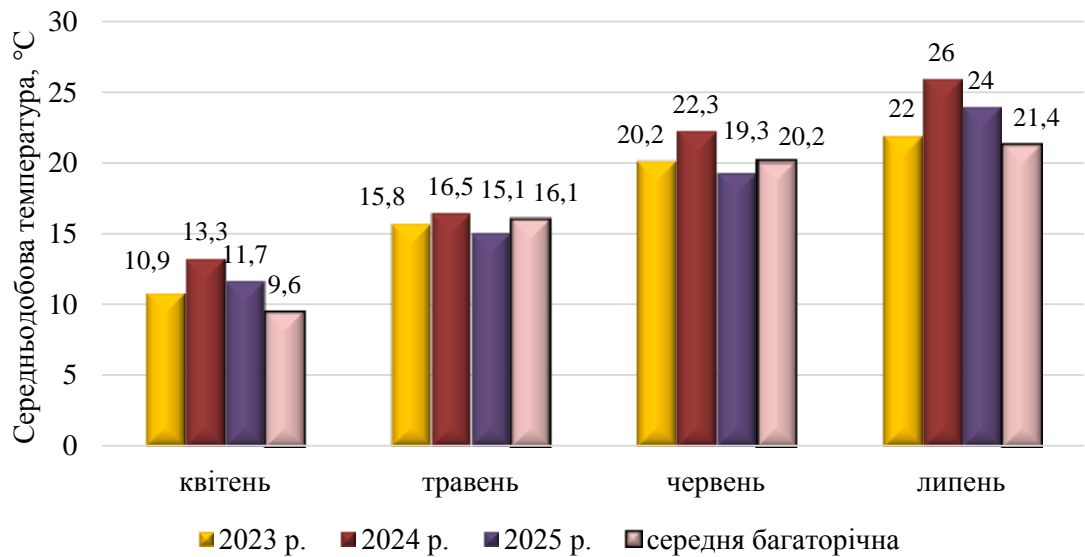


Рисунок 2.1 Середньодобова температура повітря за роки дослідження у порівнянні з середньою багаторічною

На фоні підвищених температур негативний вплив на рівень продуктивності голозерного ячменю мала також сума продуктивних опадів. За сумою опадів лише декілька місяців упродовж вегетаційного періоду ячменю за роки дослідження перевищували норму – квітень 2023 р., травень 2025 р., липень 2023 і 2025 рр. (рис. 2.2).

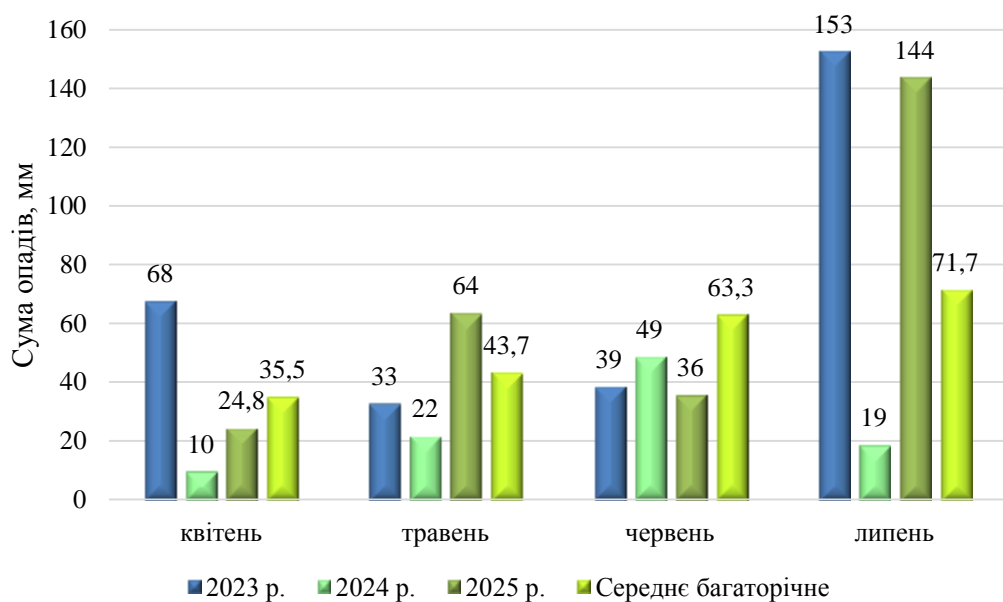


Рисунок 2.2 Сума опадів за місяць у роки дослідження у порівнянні з нормою

У липні опадів у 2023 та 2025 рр. було більше за норму, але дощі були зливовими і непродуктивними, супроводжувалися сильними вітрами, тобто за декілька днів випадала велика кількість опадів, які на фоні підвищених температур швидко випаровувалися. Особливо жорсткими умовами вирізнявся 2024 рік – високі температури та постійна посуха впродовж сієї вегетації ячменю. Це дуже негативно вплинуло на рівень продуктивності та врожайності, але водночас дало можливість провести оцінювання зразків на посухостійкість.

Таким чином, серед років дослідження 2024 рік був дуже несприятливим для росту та розвитку ярого ячменю, а 2025 рік – сприятливим. Це дало можливість виділити серед селекційного матеріалу як посухостійкі генотипи, так і генотипи з високим потенціалом продуктивності.

2.2 Вихідний матеріал для дослідження

В Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН широко розгорнуто селекцію голозерного ячменю харчового напряму використання. Створено голозерні сорти різновиду *nudum* L. Явір, Орлан, Обрій, Гордій та ІР Деліс. Сорт Гордій внесено в Державний реєстр сортів рослин, придатних для поширення в Україні з 2024 року.

Враховуючи досвід селекції голозерного ячменю, в інституті також ведеться селекція голозерного ячменю з кольоровим зерном та крохмалем зі зміненим складом [256, 257, 258, 259]. Вихідний матеріал одержано з Національного центру генетичних ресурсів рослин України. З 14 зразків голозерного ячменю сім належать до жовтозерного різновиду *nudum* L., а інші – до різновидів з кольоровим зерном. Серед них є дворядні, шестирядні та еректоїд, селекції вітчизняних (Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН та Селекційно-генетичний інститут–НЦНС НААН) та зарубіжних установ (Канада, Сербія та інші).



Рисунок 2.3 – Лінія Віолет 18-1207

Це зразки різновидів *daghestanicum* Vav. et Orl. із сіро зеленим зерном, *viride* Vav. et Orl. із зеленим зерном, *violaceum* Koern. з фіолетовим зерном, *nigrinudum* Vav., *nudimelanocrithum* Giess. et al. з чорним зерном, лінія SGI 7024 з блакитним зерном селекції СГІ-НЦНС (автор Рибалка О.І.) та лінія селекції ІР НААН Віолет 18-1207, яка належить до рідкісного різновиду *nudidubium* Koern. Усі частини рослини лінії Віолет 18-1207 у фазі наливу мають яскраве фіолетове забарвлення (рис. 2.3), по мірі дозрівання забарвлення змінюється на сіро фіолетове.

Лінія UA 0800645 є еректоїдом та належить до різновиду *nudimelanocrithum* Giess. et al. (рис. 2.4). Еректоїди вирізняються укороченими міжвузлями, в тому числі і сегментами колосового стрижня. Із-за цього еректоїди мають малу висоту та короткий дуже щільний колос. Лінія UA 080645 має голе зерно чорного кольору, всі частини рослини – жовті.

Джерелами мутації ваху було взято голозерні сорти канадської селекції CDC Alamo та Mebere, джерелом підвищеного вмісту амілози в крохмалі – теж сорт канадської селекції CDC Nilose (табл. 2.1).



Рисунок 2.4 Лінія UA 0800645

Таблиця 2.1 – Вихідний матеріал для гібридизації за темою дослідження

Зразок	Різновид	Походження	Особливості
CDC Alamo	<i>nudum</i>	Crop Development Centre (CDC), Canada	Ваху, дуже висока загальна антиоксидантна активність (АОА), вміст β -глюканів, олії та фенольних сполук, дуже довгий колос, крупнозерний – маса 1000 зерен 46,5 г
Mebere	<i>nudum</i>	AAFC, Canada	Ваху, зерно округлої форми, висока АОА, високий вміст олії
CDC Hilose	<i>nudum</i>	CDC, Canada	High amylose, дуже високий вміст олії (понад 4,70 %), дуже довгий колос
Явір	<i>nudum</i>	ІР, Україна	високий вміст олії, висока АОА
Гордій	<i>nudum</i>	ІР, Україна	високий вміст фенольних сполук, кругле зерно
UA 0805462	<i>daghestanicum</i>		сіро зелене зерно, довгий колос, дуже високий вміст крохмалю (понад 65 %) та олії
UA 0800663	<i>viride</i>		зелене зерно, дуже високий вміст білка (понад 17 %), крупнозерний – маса 1000 зерен 46,0 г
Ноем	<i>violaceum</i>		фіолетове зерно, шестирядний
Віолет 18-1207	<i>nudidubium</i>	ІР, Україна	фіолетове зерно, дуже високий вміст крохмалю (понад 66 %) та олії
UA 0800645	<i>nudimelancrithum</i>		чорне зерно, дуже високий вміст білка (понад 17 %),
UA 0802220	<i>himalayense</i>		зелене зерно, шестирядний
SGI 7024	<i>невизначений</i>	СГІ-НЦНС, Україна	блакитне зерно, крупнозерний – маса 1000 зерен 48,0 г

Особливості якості зерна вихідного матеріалу було визначено у наших попередніх дослідженнях, зокрема, що сорт CDC Alamo є джерелом високої антиоксидантної активності (понад 3,4 мг/г за еквівалентом хлорогенової

кислоти), високоамілозний сорт CDC Hilose – джерелом високого вмісту олії (понад 4,0 %), зразки UA 0800645 та UA 0800663 – високого вмісту білка, Віолет 18-1207 та UA 0805462 – високого вмісту крохмалю.

2.3 Методика проведення досліджень та статистична обробка експериментальних даних

Дослідження проводили в 2023–2025 рр., зразки ячменю було посіяно в селекційному розсаднику, площа ділянки 2 м². Схрещування проводили примусово, із колоска в колосок. Ячмінь є облігатним самоzapилювачем, цвітіння відбувається ще в піхві прапорцевого листка, це спричиняє додаткові складнощі в процесі гібридизації. Кастроване колосся накривали пергаментними ізоляторами, запилення проводили на третій день. По кожній комбінації схрещування брали не менше п'яти колосів.

Під час вегетації проводили фенологічні спостереження, відмічали дату настання сходів і фаз кушіння, колосіння та дозрівання. Після дозрівання рослини батьківських компонентів та гібридних рослин F₁, F₂ та F₃ збирали вручну з корінням, визначали параметри висоти рослин, продуктивності, її структурних елементів (довжина колоса, кількість зерен у колосі, вага зерна з колоса) та щільності колоса (додаток Б). Для аналізу відбирали не менше 15 типових рослин. Статистичну достовірність відмінностей між середніми значеннями показників у гібридних рослин та батьківських компонентів визначали за дисперсійним аналізом (ANOVA) з апостеріорним порівнянням за однорідним групами по Fisher LSD.

Так як голозерний ячмінь за посушливих умов має дуже низьку врожайність у селекційних розсадниках, у результаті маємо деякий рівень продуктивної кущистості, але колосся на підгоні засихає, кореляція між продуктивністю та продуктивною кущистістю є несправжньою. Оцінка генотипу за ознакою продуктивна кущистість є некоректною, тому зразки характеризувалися за продуктивністю головного колоса. Тобто, продуктивність головного колоса за умов жорсткої посухи є основним

показником, придатним для коректного порівняння генотипів. Було також проведено опис гібридних рослин за кольором та формою зернівки, положенням зародка в зернівці. Останнє має значення при обмолоті та очистці насіння і зерна голозерного ячменю, так як при проведенні згаданих операцій зародок часто вибивається. Таким чином зерно втрачає багато поживних речовин, а насіння – схожість. Тому бажаним для голозерного сорту є округла форма зернівки та вдавнений зародок.

Гібридизацію проводили за схемою парних схрещувань, усього за три роки було створено 112 нових гібридних популяцій. Серед них здійснено 30 комбінацій схрещування за повною діалельною схемою, батьківські компоненти – Віолет 18-1207, Гордій, UA 0800663, UA 0805462, UA 0800645, SGI 7024. Діалельні схрещування проведено з метою порівняння гібридних рослин реципрокних схрещувань за кольором зернівок та характером розщеплення за цією ознакою.

У популяціях F_1 та їх батьківських компонентів визначали параметри продуктивності та її елементів з метою встановлення типу взаємодії генів при успадкуванні за ступенем домінантності та ступеня гетерозису з метою прогнозування ефективності добору в гібридних популяціях.

Ступінь домінантності (h_p) обчислювали за формулою В. Griffing [260] (1):

$$h_p = \frac{F_1 - M_p}{P_{max} - M_p} \quad (1),$$

де F_1 – значення ознаки у гібриду, M_p – середнє значення ознаки в обох батьків, P_{max} – значення ознаки кращого батьківського компонента.

Групування отриманих даних проводили за класифікацією G.M. Beil, R.E. Atkins [261], за якою можливими є наступні типи взаємодії генів:

$h_p > 1$ – гетерозис (позитивне наддомінування), $0,5 < h_p \leq 1$ – позитивне домінування, $-0,5 \leq h_p \leq 0,5$ – проміжне успадкування, $-1 \leq h_p \leq -0,5$ – негативне домінування, $h_p < -1$ – депресія (негативне наддомінування).

Ступінь перевищення рівня ознаки у F_1 над батьками визначали за гетерозисом істинним (heterobeltiosis, H_{bt}), який дає змогу виявити

найсильніший прояв ознаки F_1 у порівнянні з кращим батьківським компонентом і тим самим – оцінити селекційну цінність та ймовірність утворення трансгресивних сегрегантів у гібридній комбінації [262]. Гетерозис істинний визначали за формулою (3):

$$Hbt(\%) = \frac{(F_1 - BP)}{BP} \times 100 \quad (3),$$

де H_{bt} – істинний гетерозис,

F_1 – значення ознаки у гібриду,

BP – значення ознаки у кращого з батьківських компонентів.

У селекційному розсаднику другого року (СР II) вирощували популяції F_2 , одержані в результаті схрещувань 2021 р. та 2022 р., так як із-за вторгнення рф не було можливості провести посівну в 2022 році в повному обсязі. Насіння висівали касетною сівалкою на ділянках площею 2 м². Рослини збирали вручну з корінням, снопики з кожної ділянки розділяли на групи рослин за кольором зерна. Після підрахунку кількості рослин в різних групах визначали тип розщеплення за кольором зерна.

Відповідність фактичного розщеплення теоретичному визначали за критерієм Пірсона χ^2 (4):

$$\chi^2 = \sum [(O - E)^2 / E], \text{ де} \quad (4)$$

\sum – сума результатів за всіма класами, що спостерігаються в розщепленні;

O – значення, що спостерігається;

E – значення, що очікується.

Якщо обчислене значення χ^2 не перевищує табличного (за таблицею відповідності значення χ^2 різним рівням значущості та ступенів свободи, для нашого дослідження $\chi^2_{\text{табл}} = 3,8$), то можна стверджувати, що відхилення від теоретично очікуваного співвідношення викликані випадковими причинами, тобто вихідна нульова гіпотеза підтверджується.

Кожну групу рослин, відібрану за кольором зернівки в F_2 , висівали окремо і в F_3 також та аналізували за розщепленням за кольором та за іншими морфологічними ознаками.

Статистичну обробку експериментальних даних проводили за програмою STATISTICA-6 – однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) для попарного порівняння, апостеріорне порівняння – за однорідними групами по Fisher LSD. Різні літери при поділі варіантів дослідження на групи означають істотні відмінності при рівні значущості $p < 0,05$. Якщо варіанти (зразки, роки і т. п.) попадають в одну групу при поділі, то при цьому вони мають однакові індекси (літери – a, b, c, d, e, f і т. д.), що означає відсутність істотних відмінностей.

Кореляційний та варіаційний (додаток Б) аналізи для встановлення взаємозв'язків між елементами продуктивності рослин та рівнів їх мінливості також проводили з використанням програми STATISTICA-6. Істотність кореляції залежить також і від кількості спостережень, а так як дана програма одночасно з визначенням коефіцієнта кореляції також визначає і його істотність, то це дає можливість зразу ж видалити неістотні кореляції. При визначенні мінливості ознаки у залежності від умов вирощування та генотипу виділяли серед них ознаки з найменшим рівнем варіювання, тобто ключові, які є визначальними для результативних доборів, але актуальними лише для даної місцевості.

Для представлення вихідних даних було використано графіку boxplot (box-and-whisker plot – ящик з вусами) (рис. 2.5). Така діаграма розмаху в зручній формі показує медіану, середнє, нижній і верхній квартилі, мінімальне і максимальне значення вибірки та викиди.

Відстані між різними частинами «ящика» дозволяють визначити ступінь розкиду (дисперсії) і асиметрії даних, а також виявити викиди.

Розташували на одному графіку кілька таких «ящиків», можна візуально порівнювати розподіл однієї змінної з іншою. Будь-які дані, які не потрапляють в простір між «вусами», повинні бути нанесені на графік ізольованими точками, малим колом або зірочками. Якщо дані мають нормальний розподіл, місця розташування позначень статистичних параметрів на графіку будуть рівновіддалено розподілені.



Рисунок 2.5 – Графік ящик з вусами (box-and-whisker plot) [263]

Визначення якісних властивостей зразків голозерного ячменю. Вміст білка та крохмалю в зерні визначали на ІнфраЛЮМ ФТ-10М 09495. Ваху-генотипи ідентифікували методом фарбування йодним розчином Люголя (модифікований метод Джуліана) [264]. При цьому крохмальні гранули ячменю ваху набувають темно-червоного або коричневого забарвлення, гранули звичайного крохмалю – синього, високоамілозного – яскраво синього.

Вміст олії визначали за вагою сухого знежиреного залишку за модифікованою методикою С.В. Рушковського (гравіметричний метод). Дві наважки по 1 г розмелених зерен в паперових пакетах поміщують у марлеві торбинки, опускають у банку з притертою кришкою та настоюють впродовж двох діб з петролейним ефіром. Після цього торбинку з частково обезжиреними пакетами поміщають в патрон апарату Сокслета та виділяють впродовж 2–4 годин залишки олії етиловим ефіром. Після екстракції пакети витягають з банки, поміщають у кристалізатор та під тягою дають випаруватися розчиннику, потім висушують впродовж 2–3 годин при 100–105 °С у сушильній шафі. Різниця у вазі пакета з наважкою до екстрагування та після нього показує вміст олії.

Аналіз жирнокислотного складу олії здійснювали методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот на газовому хроматографі «Селміхром-1». Метод базується на перетворенні тригліцеридів жирних кислот у метилові ефіри жирних кислот і може застосовуватися в діапазоні масових часток жирних кислот 0,1–100 %. Ідентифікацію метилових ефірів жирних кислот здійснювали за часом утримання піків у порівнянні із стандартною сумішшю. Було використано стандарти насичених і ненасичених метилових ефірів жирних кислот фірми «Sigma».

Вміст фенольних сполук у зерні зразків ячменю визначали колориметричним методом з використанням реактиву Фоліна-Чокалтеу (Folin-Ciocalteu). Фенольні сполуки і антоціани екстрагували із розмеленого зерна 80% етанолом (співвідношення наважки і екстрагенту 1:20) за температури 2–4°C протягом 14–16 год, після чого фільтрували. Для аналізу вмісту фенольних сполук у реакційні пробірки вносили 0,5 мл фільтрату, 8 мл дистильованої води та 0,5 мл реактиву Фоліна, перемішували і через 3 хв додавали 1 мл 10%-го Na_2CO_3 . Через 1 годину абсорбцію реакційної суміші вимірювали при 725 нм [265]. Вміст фенольних сполук виражали у мкмоль галової кислоти на 1 г наважки. Перед визначенням вмісту антоціанів супернатант підкислювали HCl до кінцевої концентрації 1%. Поглинання визначали при 530 нм [266, 267]. Результати виражені в умовних одиницях, як абсорбція у розрахунку на 1 г наважки.

Висновки до розділу 2.

1. Метеорологічні умови років досліджень значно відрізнялись за температурним режимом та режимом вологозабезпеченості. Це відображає особливості зони проведення досліджень та дає можливість отримати достовірні дані реалізації генетичного потенціалу вихідного колекційного та селекційного матеріалу.

2. Установлено, що за період проведення дослідження 2023 рік був в основному сприятливим для вирощування ярого ячменю, 2025 рік –

максимально сприятливим, а 2024 рік – посушливим, максимально несприятливим.

3. За вихідний матеріал у дослідженні використано 14 сортів та колекційних зразків голозерного ярого ячменю для встановлення мінливості ознак та їх кореляції. Серед вихідного матеріалу сім зразків з жовтим зерном *v. nudum* L., два зразки з фіолетовим зерном (з них один дворядний *v. nudidubium* Koern., один шестирядний *v. violaceum* Koern.), два – із зеленим (з них один дворядний *v. viride* Vav. et Orl., один шестирядний *v. himalayense*), один із сіро зеленим *v. daghestanicum* Vav. et Orl., один із чорним (еректоїд *v. nudimelanocrithum* Giess. et al.) та один – із блакитним, різновид не встановлено.

4. При виконанні польових та лабораторних досліджень використано загальноприйняті методики. Статистичні аналізи експериментальних даних виконано із застосуванням комп'ютерних програм EXCEL та STATISTICA 6.

5. Установлення закономірностей успадкування основних селекційних ознак проведено на 112 гібридних популяціях, одержаних за повною діалельною схемою із шістьма батьківськими компонентами та за схемою топкросів.

РОЗДІЛ 3

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЯВУ РІВНЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЮ ТА ЇЇ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГЕНОТИПУ ТА УМОВ ВИРОЩУВАННЯ

3.1 Рівень і мінливість продуктивності сортів та колекційних зразків голозерного ярого ячменю з кольоровим зерном

Продуктивність є кількісною ознакою, яка контролюється комплексом генів та визначається генотиповими особливостями та умовами вирощування. На сучасному етапі селекції в умовах можливої зміни клімату важливим є створення сортів ячменю, які поєднують високу врожайність зі стійкістю до несприятливих чинників середовища, особливо посухи.

Дослідження проведено з метою визначення рівня і мінливості продуктивності сортів та колекційних зразків голозерного ярого ячменю, в тому числі з кольоровим зерном, у залежності від генотипу та умов середовища. Вихідним матеріалом були 14 сортів і колекційних зразків різного походження харчового напрямку використання (див. табл. 2.1). Досліди закладали у селекційних розсадниках першого та другого року вивчення, площа ділянки 2 м². Статистичну обробку результатів дослідження проводили за допомогою ANOVA, апостеріорне порівняння – за Homogenous groups (Fisher LSD) за програмою STATISTICA 6. Для розширеної візуалізації мінливості кількісних ознак вихідного матеріалу було застосовано графіку boxplot (box-and-whisker plot – ящик з вусами).

Всі ознаки визначали у головного колоса зразків ячменю, це пояснюється його найбільш високою фенотиповою стабільністю та основним вкладом у кінцевий показник продуктивності [204]. Також було враховано надзвичайно жорсткі погодні умови років дослідження, а саме умови 2024 року, коли неможливо було коректно визначити продуктивність рослини.

За результатами дисперсійного аналізу встановлено наявність істотних відмінностей за всіма елементами структури рослин в залежності від генотипу чи умов вирощування. Враховуючи результати апостеріорного порівняння, виявлено, що за висотою рослин істотно відрізняється 2025^b р. (77 см) від 2023^a р. (61 см) та 2024^a р. (56 см) (рис. 3.1, додаток В). Це визначається сприятливими погодними умовами 2025 року.

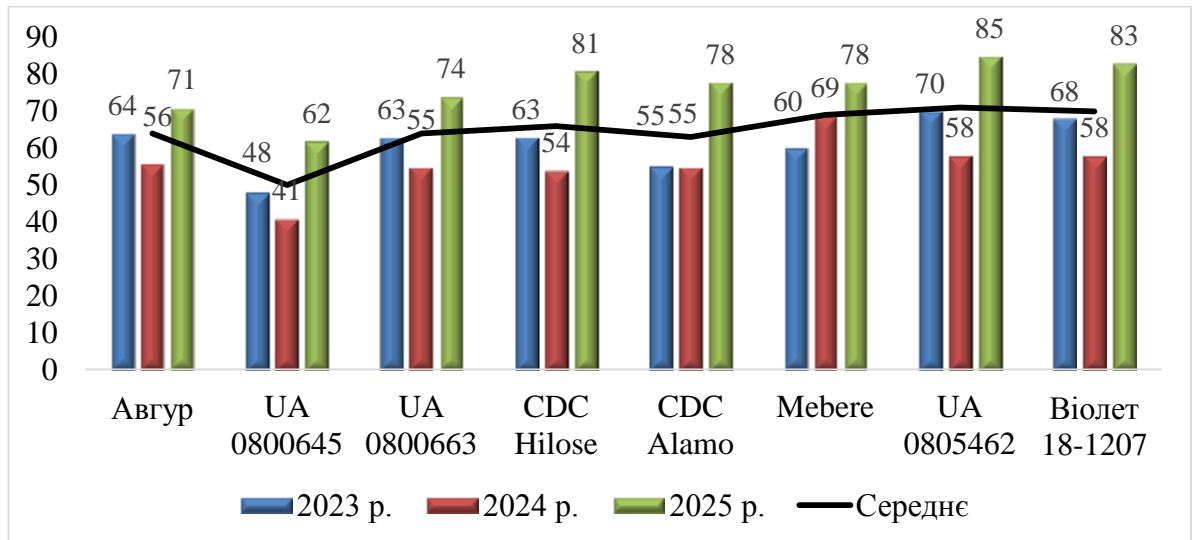


Рисунок 3.1 – Висота рослин зразків ячменю в залежності від генотипу та погодних умов, см

За довжиною колоса в залежності від умов року істотних відмінностей не виявлено (8,8–9,1 см) (див. дод. В). У залежності від генотипу істотно нижчою була висота колекційного зразку UA 0800645^b (50 см) у порівнянні з іншими зразками та середнім по вибірці (65 см), які відносяться до групи ^a (рис. 3.2, див. додаток В). Це пояснюється тим, що UA 0800645 еректоїд, тобто має укорочені міжвузля та коротку соломину.

У залежності від генотипу при попарному порівнянні істотно меншим цей показник був у UA 0800645^c (5,3 см), UA 0800663^d (7,4 см), більшим – у CDC Alamo^e (11,4 см), ніж у інших зразків, які відносилися до груп ^{ab} (9,0–9,9 см). У порівнянні з середнім по вибірці (8,9 см) істотно меншою була довжина колоса зразків UA 0800645^c та UA 0800663^d, більшою – у сорту CDC Alamo^e та зразка UA 0805462^b (9,9 см). Як низькорослість, так і мала довжина колоса колекційного зразка UA 0800645 пояснюється тим, що цей зразок є еректоїдом та має укорочені сегменти стрижня колоса.

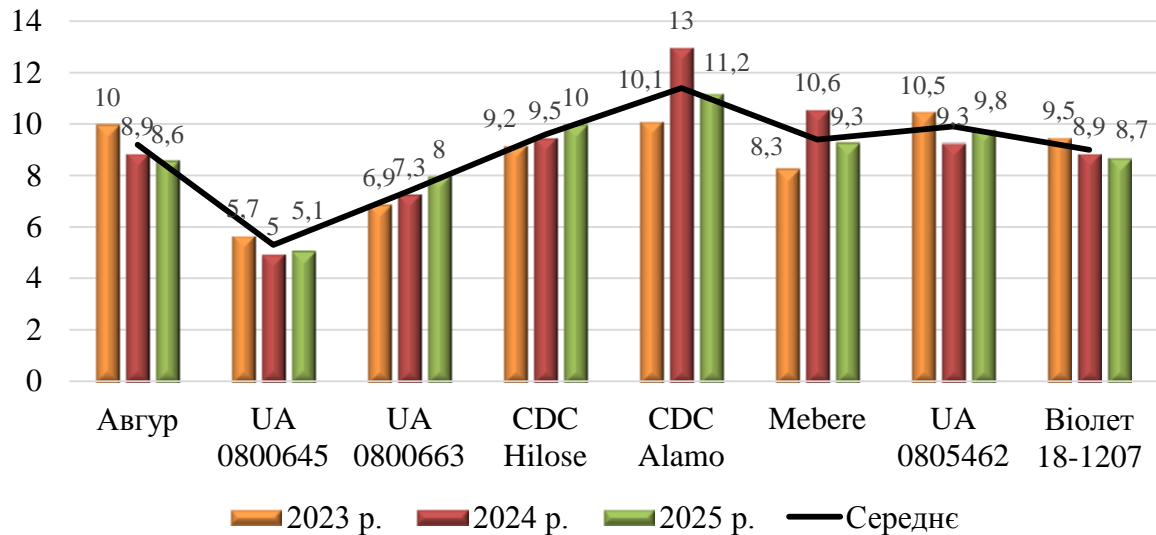


Рисунок 3.2. – Довжина колоса зразків ячменю в залежності від генотипу та погодних умов, см

За кількістю зерен у колосі в залежності від умов року істотних відмінностей не виявлено (24–26 штук) (див. дод. В). У залежності від генотипу істотно відрізняються від середнього по вибірці (25 зерен) зразки UA 0800645^d та UA 0800663^d (19 зерен), а за більшим значенням – зразки Віолет 18-1207^{bc} (28 зерен), UA 0805462^{bc} (28 зерен) та сорт CDC Alamo^c (31 зерно).

При попарному порівнянні встановлено, що колекційні зразки UA 0800645 та UA 0800663 істотно відрізняються від усіх інших зразків вибірки, а разом з ними сорт Авгур – від зразків Віолет 18-1207, UA 0805462 та сорту CDC Alamo.

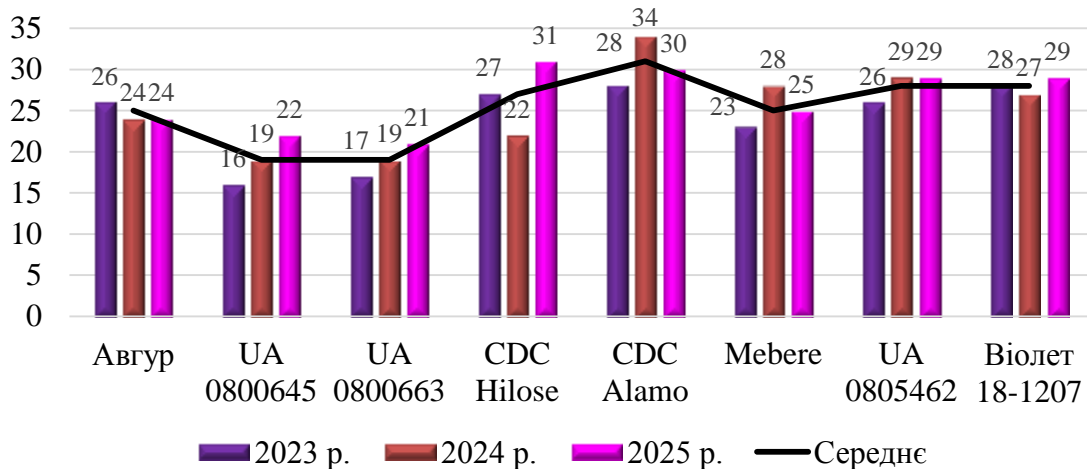


Рисунок 3.3 – Кількість зерен у колосі у зразків ячменю в залежності від генотипу та погодних умов, штук

Щільність колоса є ознакою, яка найменше варіює в залежності від умов вирощування. Цей показник визначається підрахунком кількості зерен на 4 см у середній частині колоса, в нашій вибірці середньою щільністю є 11,5 зерен. У залежності від генотипу встановлено істотну відмінність зразка UA 0800645^c (14 зерен) від середнього та інших зразків у вибірці (11–12 зерен) (рис. 3.4, див. дод. В). Знову ж це пояснюється належністю зразка UA 0800645 до еректоїдів, унаслідок укорочення сегментів стрижня зерна в колосі розташовуються дуже щільно.

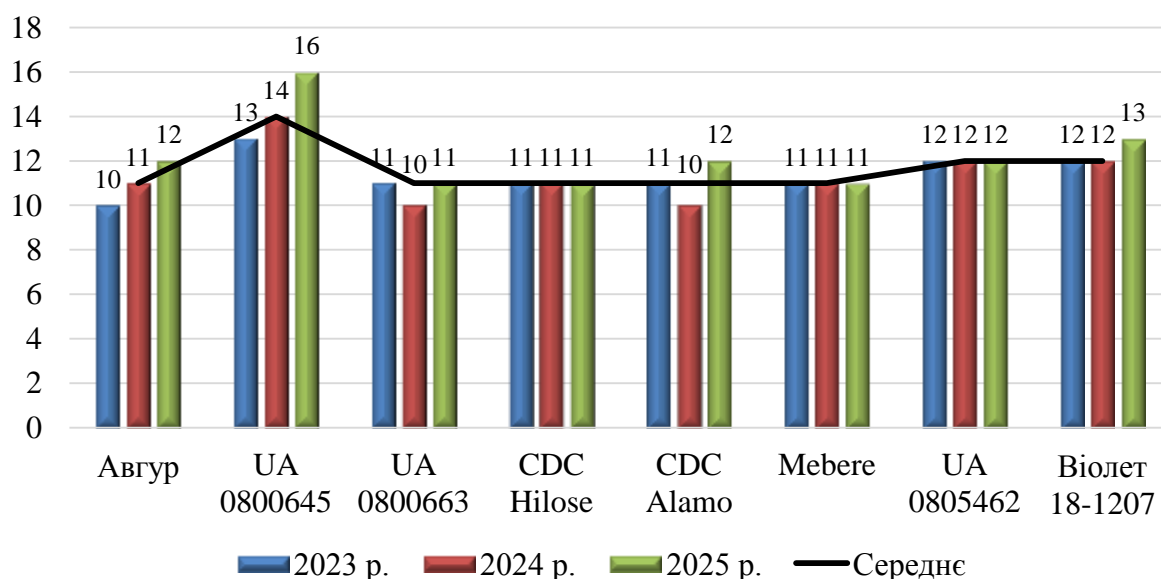


Рисунок 3.4 – Щільність колоса зразків ячменю в залежності від генотипу та умов вирощування, штук на 4 см

Ще однією ознакою з дуже низькою варіабельністю є маса 1000 зернівок. У залежності від умов року істотних відмінностей не виявлено (43,4–45,5 г). У залежності від генотипу істотно відрізняються від середнього по вибірці (44,6 г) зразки Авгур^f (50,0 г), CDC Alamo^a (46,5 г), CDC Hilose^a (47,4 г), а за меншим значенням – зразки Віолет 18-1207^d (38,1 г), UA 0805462^e (41,4 г) (рис. 3.5, див. дод. В).

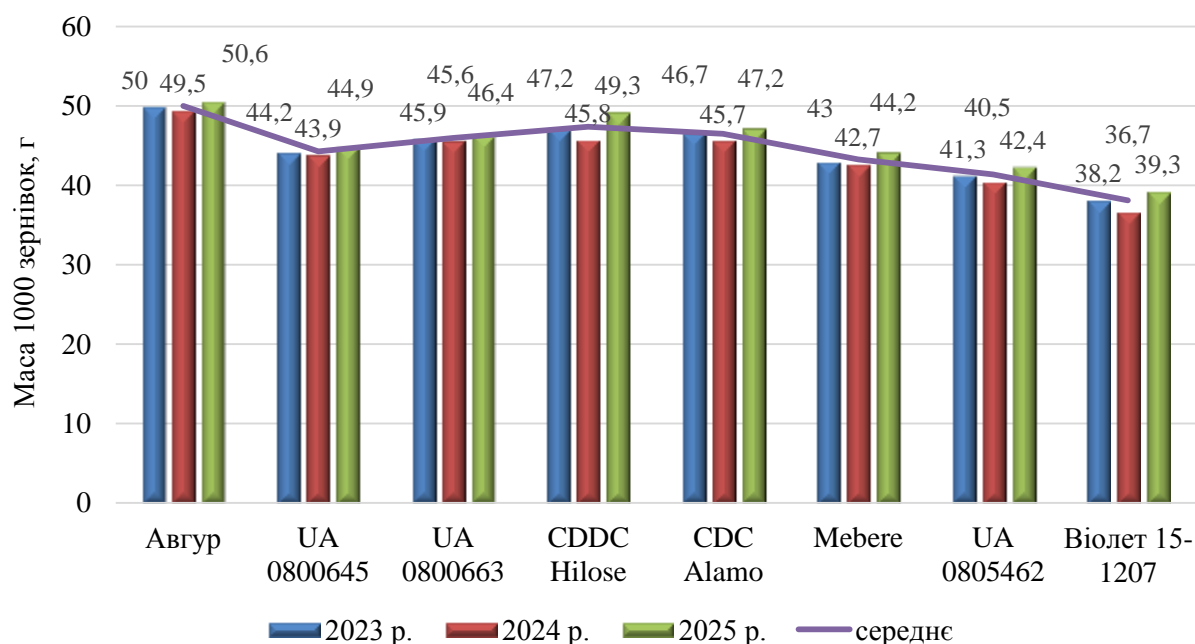


Рисунок 3.5 – Маса 1000 зернівок зразків ячменю в залежності від генотипу та умов вирощування, г

У результаті дослідження 2023–2025 рр. було встановлено, що продуктивність головного колоса була істотно нижчою у 2024 р. (1,23 г), ніж у 2023 р. і 2025 р. (1,38 г та 1,43 г відповідно) (рис. 3.6), що пояснюється аномально жорсткими погодними умовами 2024 року – тривала посуха на фоні високих температур (середньодобова в червні-серпні досягала 32 °С).

У залежності від генотипу вага зерна з головного колоса більшості генотипів знаходиться на рівні середньої по вибірці (1,35 г), істотно відрізняються лише UA 0800645^b (0,95 г) та UA 0800663^{bc} (1,03 г) (рис. 3.6, див. дод. В). Таким чином, за вагою зерна з головного колоса вибірка є доволі однорідною.

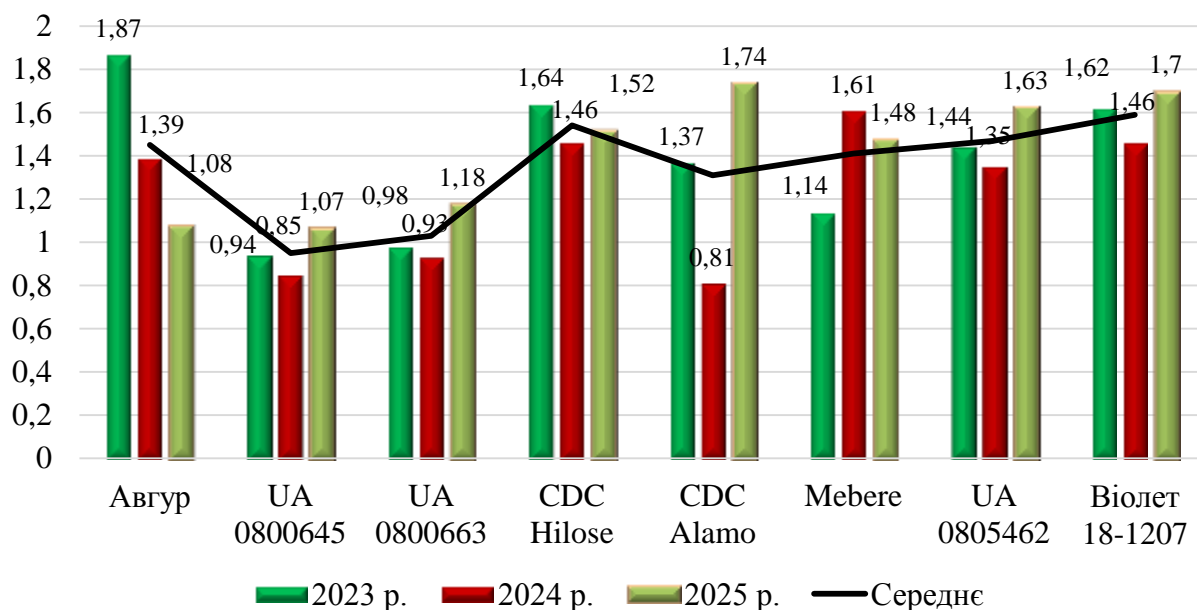
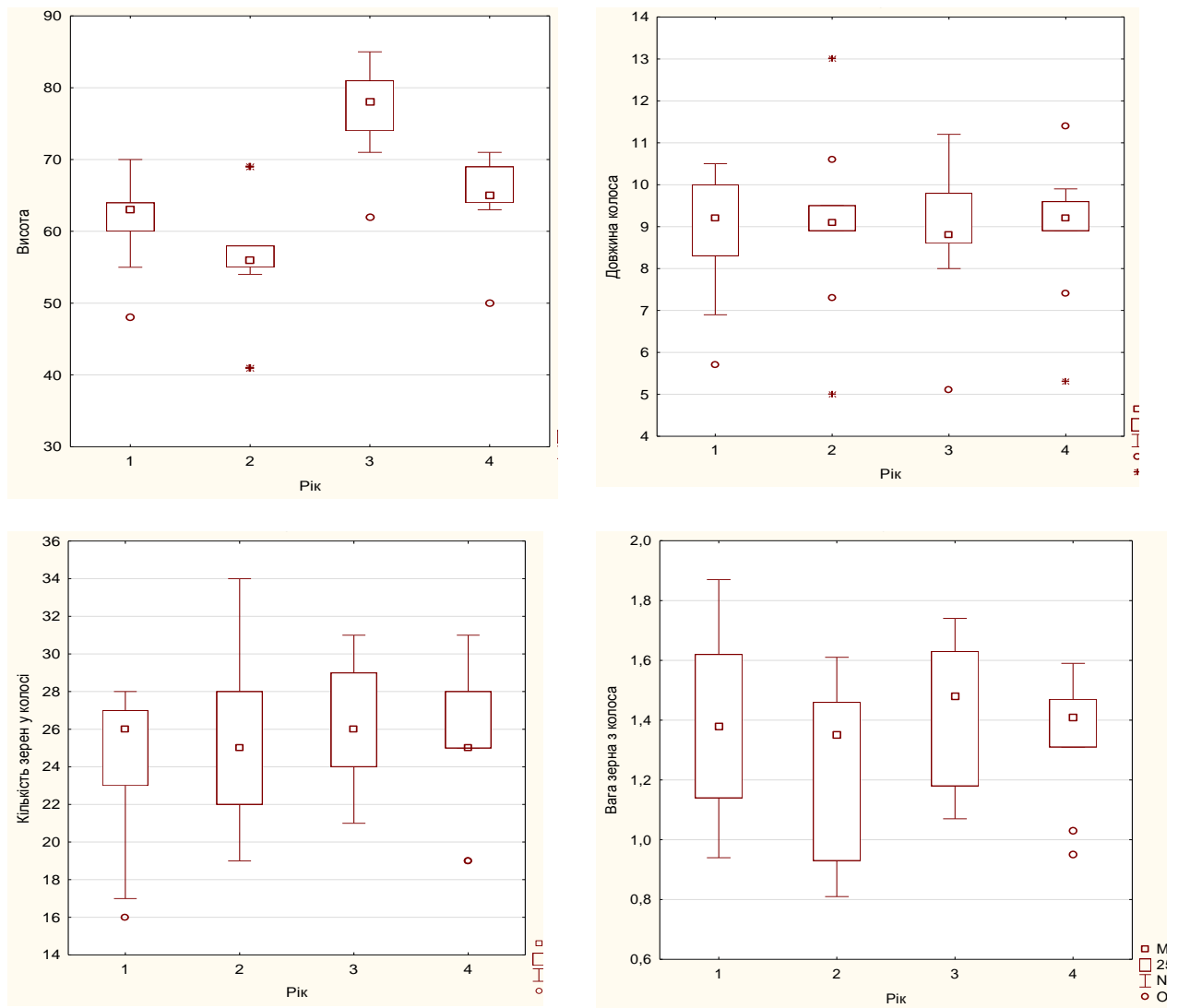


Рисунок 3.6 – Вага зерна з головного колоса, г

Box-and-whisker plot – *ящик з вусами*. Для візуалізації та порівняння рівнів прояву кількісних ознак батьківських компонентів голозерного ячменю було використано графіку boxplot (рис. 3.7, 3.8). Така діаграма розмаху характеризує вибірку одночасно за декількома показниками: медіаною, середнім значенням, нижнім і верхнім кuartилями, мінімальним і максимальним значенням вибірки та викидами. Відстані між різними частинами «ящика» дозволяють визначити ступінь розкиду (дисперсії) даних, а також виявити викиди. Розмах мінливості ознак можна оцінити за довжиною «вусів» у «ящиках», де кінці «вусів» - це краї статистично значущої вибірки (без викидів). Розташувавши на одному графіку кілька таких «ящиків», можна візуально порівнювати розподіл однієї змінної з іншою в залежності від різних чинників – умов вирощування та генотипу. Дані, які не потрапляють в простір між «вусами», нанесені на графік ізольованими точками та показують викиди.

Так, на рисунку 3.6 показано мінливість висоти рослин, довжини колоса, кількості зерен та ваги зерна з колоса в залежності від умов року вирощування в порівнянні з середньою по вибірці.



Примітка: Роки дослідження: 1 – 2023 рік, 2 – 2024 рік, 3 – 2025 рік, 4 – середнє за роками.

Рисунок 3.7 – Мінливість елементів структури рослин ячменю в залежності від умов вирощування, 2023–2025 рр.

По висоті рослин за розташуванням середніх значень за роками в ящиках помітні істотні відмінності – у 2025 р. висота була більшою, ніж у інших варіантах, що підтверджує результати дисперсійного аналізу.

Нормальний розподіл за висотою рослин був у 2024 р. та у 2025 р. (квадратик «середньої» розташовується близько до медіани, тобто до середини ящика). Дані 2023 р. та середньої по вибірці асиметричні, з ухилом до більших значень висоти (65–71 см) у 2023 р. або до менших (56–61 см) у середньої (див. рис. 3.7, дод. Б). Тобто, частота великих значень висоти у

2023 році є більшою, ніж малих і навпаки щодо асиметрії середнього значення.

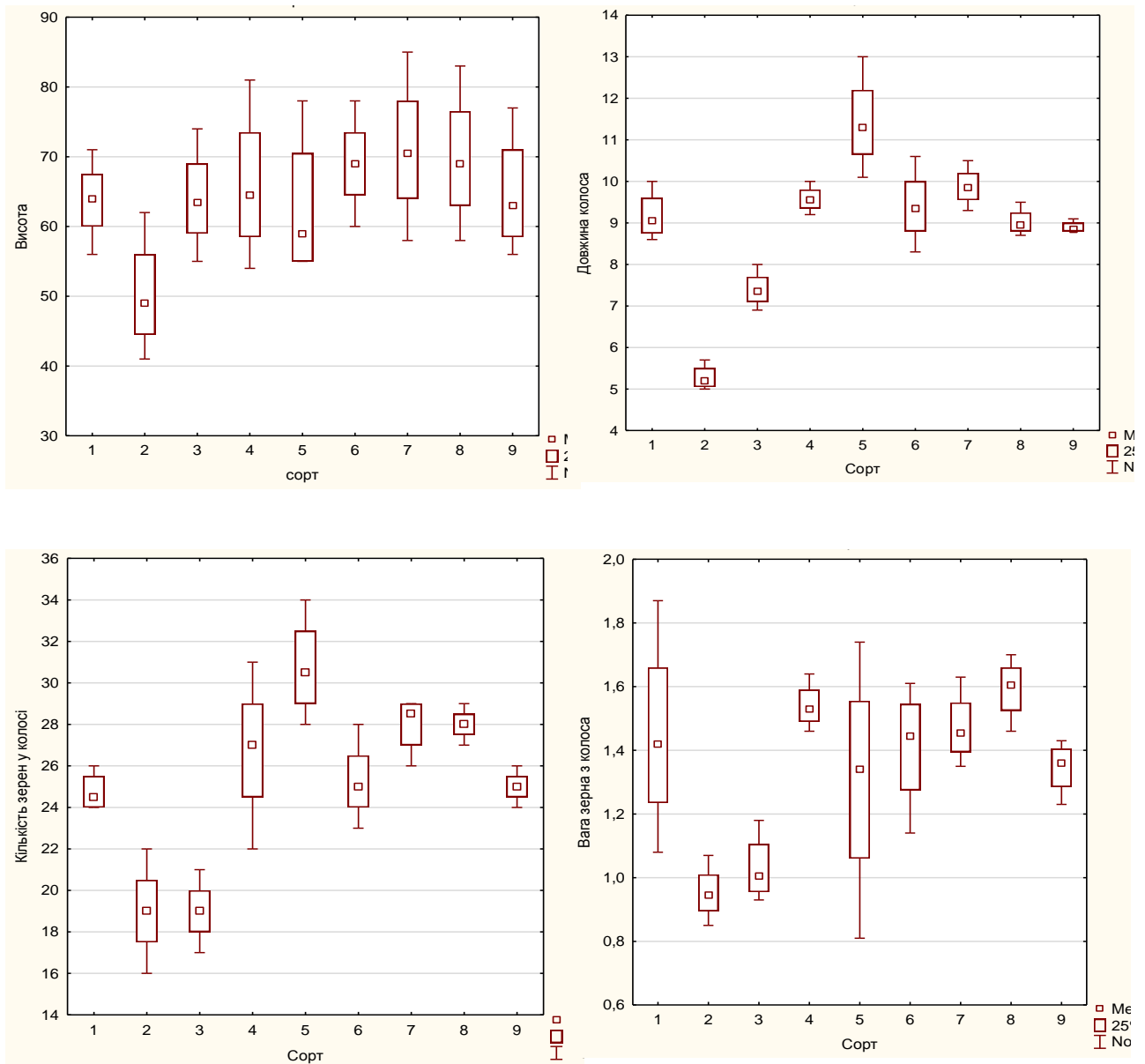
«Вуса» ящиків 2023 р. та 2025 р. значно довші, ніж у 2024 р., що свідчить про більш повну реалізацію потенціалу висоти рослин у роки зі сприятливими погодними умовами.

По довжині колоса середні за роками значення розташовані в ящиках майже на одному рівні, що підтверджує дані дисперсійного аналізу щодо відсутності істотної різниці за довжиною колоса в залежності від умов року вирощування. Але слід відмітити, що за довжиною колоса, як і за висотою рослин, ящики 2023 р. і 2025 р. мають довгі «вуса», тоді як у 2024 р. «вуса» відсутні. Це свідчить про те, що реалізація ознаки довжина колоса у 2024 р. була вкрай обмеженою. При цьому помітною є асиметрія розподілу в 2025 р. з ухилом до меншого значення, тобто зразків з відносно невеликою довжиною колоса (8,8–8,9 см) було більше, ніж з довгим колоссям (див. рис. 3.7, дод. Б).

Середня за роками значення кількості зерен у колосі теж розташовані майже на одному рівні, але на ящик 2024 р. на відміну від ящиків за висотою рослин та довжиною колоса має довгі «вуса», тобто великий розмах значень.

За вагою зерна з головного колоса за розташуванням квадратика середнього значення виділяється 2025 р., що пояснюється сприятливими умовами для розвитку ячменю. Амплітуда значень даної ознаки у всі роки практично однакова, тобто «вуса» мають майже однакову довжину. В 2024 р., 2025 р. та у середньої по вибірці помітна асиметрія з ухилом від медіани в сторону великого значення (1,48–1,59 г) (див. рис. 3.7, дод. Б).

На рисунку 3.8 показано мінливість висоти рослин, довжини колоса, кількості зерен та ваги зерна з колоса в залежності від генотипу в порівнянні з середньою по вибірці. На графіках за розташуванням квадратиків середніх значень помітною є наявність істотних відмінностей у всіх варіантах дослідження, що підтверджує результати дисперсійного аналізу.



Примітки: Зразки ячменю: 1 – Авгур, 2 – UA 0800645, 3 – UA 0800663, 4 – CDC Hilose, 5 – CDC Alamo, 6 – Mebere, 7 – UA 0805462, 8 – Біолет 18-1207, 9 – середнє за генотипами.

Рисунок 3.8 – Мінливість елементів структури рослин ячменю в залежності від генотипу, 2023–2025 рр.

Амплітуда значень кількісних ознак різних генотипів свідчить про силу реакції зразків на умови року вирощування. Так, за висотою рослин слабкою є амплітуда півчастого сорту Авгур, серед голозерних – Mebere, UA 0800663. У сорту CDC Alamo встановлено значну асиметрію з відхиленням до малих значень (55 см) (див. рис. 3.8, дод. Б), що свідчить про сильну реакцію сорту на умови вирощування саме за цією ознакою.

За довжиною колоса найменшу амплітуду визначено у зразків UA 0800645, UA 0800663, CDC Nilose, Віолет 18-1207, найбільшу – у сортів CDC Alamo, Mebere. За кількістю зерен у колосі слабку амплітуду відмічено у сорту Авгур та лінії Віолет 18-1207, сильну – у сортів CDC Nilose, CDC Alamo, Mebere та колекційного зразка UA 0800645. За цими двома ознаками розподіл значень є нормальним, тобто середнє знаходиться близько до медіани, лише за кількістю зерен у колосі у сорту Авгур відхилення до менших значень (24 зерна), а у зразка UA 0805462 – до більших (29 зерен) (див. рис. 3.8, дод. Б).

За вагою зерна з головного колоса дуже великим є розмах значень у сортів Авгур, CDC Alamo, Mebere, малим – зразків UA 0800645, UA 0805462, CDC Nilose, Віолет 18-1207. Таким чином, на умови вирощування сильно реагують зразки CDC Alamo, Mebere за всіма ознаками, за кількістю зерен – CDC Nilose, UA 080645 та Авгур за вагою зерна з головного колоса. Слабку реакцію на умови вирощування за більшістю ознак встановлено у зразків Віолет18-1207, CDC Nilose.

Варіабельність параметрів рослини та колоса. Відносним показником мінливості кількісних ознак є коефіцієнт варіації, який визначає амплітуду та характер мінливості. Це один із способів визначення ключових (маркерних) ознак при доборі на продуктивність, так як ознаки з найменшою варіабельністю в залежності від умов вирощування є маркерними для конкретної зони. Тому селекціонеру при доборах перспективного матеріалу доцільним буде керуватися рівнем саме цих ознак.

У наших дослідженнях за значенням коефіцієнта варіації визначали ступінь мінливості ознаки, а саме: $CV < 10 \%$ – мінливість слабка;

$11 \% \leq CV \leq 25 \%$ – мінливість середня;

$CV > 25 \%$ – мінливість значна.

При низькому значенні коефіцієнта варіації сукупність є однорідною за даною ознакою. Чим більший коефіцієнт варіації, тим сильнішою є мінливість.

Найменшої мінливості в залежності від умов вирощування зазнає маса 1000 зернівок та щільність колоса, коефіцієнт варіації слабкий, від 0 % до 10 % (табл. 3.2). Дещо більше змінюється довжина колоса (у більшості зразків 4–8 %) та кількість зерен у колосі (у більшості зразків 4–10 %). Виключеннями за ознакою довжина колоса є сорти CDC Alamo (13 %), Mebere (12 %), за кількістю зерен у колосі – еректоїд UA 0800645 (16 %), але навіть ці рівні мінливості відносяться до середнього рівня варіабельності.

Таблиця 3.2 – Варіабельність параметрів рослини та колоса в залежності від генотипу та умов вирощування за коефіцієнтом варіації, 2023–2025 рр.

Зразок	Коефіцієнт варіації <i>CV</i> (%) за ознаками					
	висота рослин	довжина колоса	кількість зерен у колосі	щільність колоса	маса 1000 зернівок	вага зерна з колоса
Авгур	12	8*	5*	9*	0,6*	26**
UA 0800645	21	7*	16	10*	0,6*	47**
UA 0800663	15	8*	10*	5*	0,4*	34**
CDC Hilose	21	4*	10*	0*	6,5*	36**
CDC Alamo	21	13	10*	9*	1,3*	44**
Mebere	13	12	10*	0*	1,5*	34**
UA 0805462	19	6*	6*	0*	2,2*	30**
Віолет 18-1207	18	5*	4*	0*	4,5*	29**

Примітки. * – слабка мінливість, ** – сильна мінливість

Середньою мінливістю всіх зразків у вибірці характеризується також висота рослин, коефіцієнт варіації 13–21 %. Лише вага зерна з головного колоса зазнає сильної мінливості в залежності від умов вирощування, коефіцієнт варіації 26–47 % (див. табл. 3.2).

Таким чином, підсумовуючи результати статистичних аналізів кількісних ознак голозерного ячменю, можна дійти до висновку, що ключовими ознаками для візуального добору в полі перспективного матеріалу для селекції на продуктивність та стабільність є довжина колоса та

кількість зерен у колосі, так як саме ці ознаки є стабільними та зазнають найменшої мінливості під впливом умов вирощування. Результати таких доборів доречно підтверджувати значенням маси 1000 зернівок, так як ця ознака не зазнає істотних змін від умов вирощування та залежить від генотипу. Але недостатньо знати лише рівень мінливості певних ознак, для коректного ведення селекційного процесу необхідним є врахування їх взаємовпливу.

3.2 Кореляційний аналіз елементів продуктивності голозерного ячменю та визначення ключових ознак і джерел для селекції на підвищену продуктивність.

Для досягнення бажаного результату при доборі перспективного матеріалу доцільним буде врахування взаємовпливу структурних елементів рослин, так як добір за одним з них пов'язана зі зміною інших показників. Для цього нами проведено кореляційний аналіз продуктивності та інших структурних елементів. Аналіз було проведено за допомогою програми STATISTICA 6, яка одночасно зі значенням коефіцієнта кореляції визначає його істотність.

У результаті аналізу нами встановлено, що кореляція кількісних ознак залежить від умов року вирощування. Так, між продуктивністю головного колоса та кількістю зерен у колосі встановлено тісну сильну кореляцію за всі роки дослідження, від 0,74 у 2024 р. до 0,87 у 2025 році (рис. 3.9). При цьому продуктивність головного колоса також істотно залежала від довжини колоса ($r = 0,81$). Це пояснюється стабільною істотною кореляцією між довжиною колоса та кількістю зерен у ньому ($r = 0,88\text{--}0,93$). У 2025 р. відмічено істотний взаємозв'язок висоти рослин з довжиною колоса ($r = 0,79$) та кількістю зерен у колосі ($r = 0,77$).

Ознака	Висота рослин		Довжина колоса		Кількість зерен у колосі		Щільність колоса		Вага зерна з колоса	
Довжина колоса	0,64	0,63			–	–	–	–	–	–
	0,79	0,70			–	–	–	–	–	–
Кількість зерен у колосі	0,52	0,60	0,93	0,88			–	–	–	–
	0,77	0,60	0,91	0,92			–	–	–	–
Щільність колоса	-0,63	-0,55	-0,45	-0,67	-0,38	-0,33			–	–
	-0,14	-0,65	-0,75	-0,72	-0,10	-0,13			–	–
Вага зерна з колоса	0,63	0,69	0,81	0,62	0,83	0,74	-0,49	-0,03		
	0,85	0,78	0,81	0,77	0,87	0,70	-0,03	-0,11		
Маса 1000 зерен	-0,30	-0,21	-0,01	0,04	-0,08	-0,26	-0,66	-0,39	0,18	-0,21
	-0,37	-0,33	0,13	0,08	-0,13	-0,26	-0,28	-0,47	-0,46	0,07

Примітка: Коефіцієнти кореляції (Spearman Rank Order Correlations, $p < ,05000$) за різними роками та за середнім значенням

2023	2024
2025	середнє

	Істотна позитивна кореляція
	Неістотна позитивна кореляція
	Неістотна негативна кореляція
	Істотна негативна кореляція

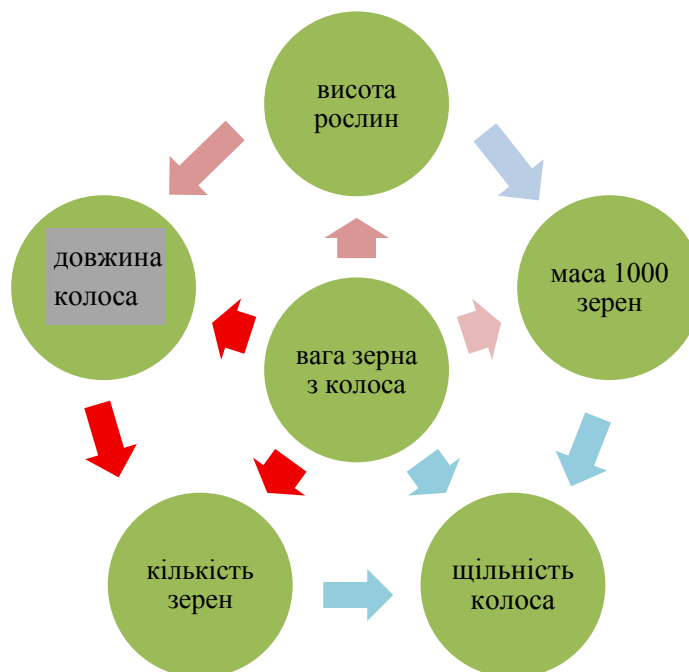
Рисунок 3.9 – Кореляція продуктивності головного колоса з іншими параметрами рослини та структури продуктивності колоса, 2023–2025 рр.

Таким чином, зміна тісноти зв'язку між структурними елементами залежить від умов вирощування, тобто під впливом погодних умов відбувається перерозподіл внеску елементів структури рослини у формування продуктивності, спостерігається компенсаторний ефект. Так, у сприятливому 2025 році висота рослин тісно пов'язана з довжиною колоса та кількістю зерен у ньому, тому з висотою рослин опосередковано пов'язана і

вага зерна з колоса. Цей висновок підтверджує результати дослідження інших вчених [207, 268]. І навпаки: в менш сприятливому 2023 р. та в посушливому 2024 р. тісний взаємозв'язок висоти, довжини колоса та кількості зерен відсутній, тому відсутній і вплив висоти рослин на вагу зерна з колоса. Серед усіх ознак виділяється щільність колоса та маса 1000 зернівок, з якими відсутня істотна кореляція інших структурних елементів, у більшості варіантів встановлено неістотну негативну кореляцію, лише у 2025 р. між довжиною колоса та щільністю встановлено істотну негативну кореляцію (див. рис. 3.9).

Наші дані щодо істотного впливу кількості зерен у головному колосі на продуктивність ячменю узгоджуються з висновками інших вчених [210, 224, 225, 230, 232, 233, 237, 238, 239, 240, 241].

За результатами кореляційного аналізу можна виділити кореляційні кластери продуктивності головного колоса з іншими кількісними ознаками (рис. 3.10).



Примітка:



Істотна позитивна кореляція
Неістотна позитивна кореляція
Неістотна негативна кореляція

Рисунок 3.10 – Кореляційні кластери елементів структури продуктивності зразків голозерного ячменю

Так, основним кластером є вага зерна з колоса – довжина колоса – кількість зерен у колосі. Другорядним кластером, реалізація якого залежить від погодних умов, є вага зерна з головного колоса – висота рослин – довжина колоса – кількість зерен у колосі.

Висновки до розділу 3.

1. Реалізація кількісних ознак рослин голозерного ячменю залежить від генотипу та погодних умов вирощування. Потенціал рослин найбільш повно реалізується в сприятливих умовах 2025 року, а в умовах жорсткої посухи 2024 року є можливість відібрати посухостійкі та жаростійкі генотипи.

2. За довжиною колоса, кількістю зерен у колосі, щільністю колоса та масою 1000 зерен не виявлено істотних відмінностей в залежності від умов року вирощування. В залежності від генотипу істотні відмінності були у всіх варіантах дослідження.

3. У колекційного зразка UA 0800645 у порівнянні з іншими зразками та середнім по вибірці істотно нижчими була висота рослин (50 см), довжина колоса (5,3 см), кількість зерен (19 зерен) та вага зерна з колоса (0,95 г). При цьому щільність колоса у цього зразка була найбільшою (14 зерен на 4 см стрижня колоса). Це пояснюється тим, що UA 0800645 еректоїд, тобто має укорочені міжвузля, коротку соломину та укорочені сегменти стрижня колоса.

4. Джерелами довгоколосості можуть бути зразки CDC Alamo (11,4 см), UA 0805462 (9,9 см); джерелами великої кількості зерен у колосі – CDC Alamo (31 зерно), UA 0805462 та Віолет 18-1207 (28 зерен); джерелами продуктивності головного колоса – Віолет 18-1207 (1,59 г) та CDC Hilose (1,54 г). Виділення джерел цінних ознак є важливим для підвищення врожайності голозерного ячменю та задоволення потреб у продовольстві, особливо в умовах зміни клімату.

5. Рівень варіювання кількісних ознак у зразків голозерного ячменю є різним у залежності від умов вирощування та генотипу. Найменше варіюють маса 1000 зерен ($CV = 0,4-4,5 \%$), щільність колоса ($CV = 0-10 \%$), кількість зерен у колосі ($CV = 4-10 \%$), довжина колоса ($CV = 4-8 \%$). У декількох зразків за кількістю зерен у колосі та його довжиною встановлено кореляцію середньої сили. Саме ці ознаки можна вважати маркерними при доборах за будь-яких погодних умов у нашій зоні. Найбільш варіабельною є вага зерна з головного колоса ($CV = 26-47 \%$).

6. Кореляція кількісних ознак залежить від умов року вирощування, між продуктивністю головного колоса та кількістю зерен у колосі встановлено тісну сильну кореляцію за всі роки дослідження ($r = 0,74-0,87$). Продуктивність головного колоса також істотно залежала від довжини колоса ($r = 0,81$). Це пояснюється стабільною істотною кореляцією між довжиною колоса та кількістю зерен у ньому ($r = 0,88-0,93$).

7. Враховуючи результати дисперсійного аналізу, boxplot аналізу, варіаційного та кореляційного аналізів, встановлено, що маркерними ознаками для добору перспективних зразків для селекції на продуктивність є довжина колоса та кількість зерен у колосі. Це дає змогу провести бракування ще до збору врожаю, що полегшує та прискорює селекційний процес. Однак слід відмітити, що дані висновки є коректними для даної вибірки голозерного ячменю та конкретних умов вирощування. У дослідженнях з іншим вихідним матеріалом та в іншому середовищі можливим є одержання інших результатів унаслідок компенсаторного ефекту рослин різних сортів ячменю.

РОЗДІЛ 4 ЗАКОНОМІРНОСТІ УСПАДКУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ОЗНАК ПРОДУКТИВНОСТІ, ЇЇ СТРУКТУРНИХ КОМПОНЕНТІВ ТА КОЛЬОРУ ЗЕРНА

4.1 Ступінь домінантності у F_1 ячменю, визначення перспективних гібридних популяцій

Успадкування кількісних ознак є складним, так як детермінація таких ознак відбувається не лише за участю великої кількості генів, але і взаємодії між ними. При цьому на внесок кожного з генів впливають чинники середовища, тому ефект домінування проявляється у фенотипі лише частково. При схрещуванні батьківських компонентів фенотипова мінливість гібридних рослин визначається як спадковими (генетичними), так і неспадковими чинниками. Встановлення прояву та ступеню гетерозису в F_1 самозапильних культур, до яких належить ячмінь, дає можливість прогнозу виникнення в наступних поколіннях трансгресивних зразків. Це підвищує ефективність селекційного процесу, так як збільшує кількість доборів зразків з корисними ознаками.

З метою прогнозування ефективності добору в гібридних популяціях у 2023–2025 рр. проведено визначення ступеню домінантності (h_p), типу взаємодії генів та ступеню гетерозису (H_b) у F_1 . За результатами цих досліджень також можна виділити перспективні гібридні популяції та батьківські компоненти.

Схрещування було проведено за типом топкросів у 2023–2025 рр. та за типом діалельних у 2025 р. Вихідним матеріалом для схрещування були в 2023 р. голозерні сорти та колекційні зразки вітчизняної (Віолет 18-1207, Ахіллес, Явір, SGI 7024) та зарубіжної селекції (UA 0800645, Mebere, UA 0805462, Ноем, UA 0800663, CDC Alamo, CDC Hilose); у 2024 р. – вітчизняні зразки Віолет 18-1207, Ахіллес, SGI 7024, зарубіжні – UA 0800663, CDC Alamo, UA 0802220, CDC Hilose, Mebere, Ноем, UA 0805462, UA 0800645, з метою підвищення адаптивності до умов середовища до схрещувань було залучено плівчастий сорт селекції IP ім. В.Я. Юр'єва НААН Авгур, стандарт

за врожайністю. У 2025 р. було проведено дві серії схрещувань – топкрос для створення перспективних гібридних популяцій та діалель з метою порівняння реципрокних гібридів. Батьківськими компонентами були в топкросах вітчизняні голозерні сорти та колекційні зразки Ахіллес, Явір, Віолет 18-1207, плівчасті Авгур, Подив, Шедевр; зарубіжні голозерні CDC Alamo, CDC Nilose, Mebre, UA 0802220, UA 0805462, UA 0800663. Діалельні схрещування було проведено за повною схемою з шістьма батьківськими компонентами: Віолет 18-107, Гордій, SGI 7024, UA 0800645, UA 0805462, UA 0800663. Для аналізу елементів структури продуктивності відбирали по 15 типових рослин. Статистичну достовірність відмінностей визначали за дисперсійним аналізом (ANOVA) за допомогою програми STATISTICA 6. Ступінь домінантності (h_p) обчислювали за формулою В. Griffing [260], ступінь перевищення рівня ознаки у F_1 над батьками визначали за гетерозисом істинним (H_{bt}) [261].

У нашому дослідженні гетерозис найчастіше спостерігали у комбінаціях з материнськими компонентами Гордій та Ноем (58 % від усіх варіантів), відносно часто гетерозис відмічено в комбінаціях з участю UA 0800663, UA 0802220, UA 0800645, Віолет 18-1207, CDC Nilose (29–20 %) (рис. 4.1, дод. Г).

Основним типом взаємодії генів при успадкуванні досліджуваних ознак у гібридних комбінаціях з материнськими компонентами Віолет 18-1207, CDC Alamo, Mebere, UA 085462, UA 080663, SGI 7024 було проміжне успадкування (41–35 % від усіх варіантів), а з материнськими компонентами CDC Alamo, CDC Nilose, UA 082220 дуже високою була частка негативного наддомінування, тобто депресії (40–31 %) (див. рис. 4.1, дод. Г).

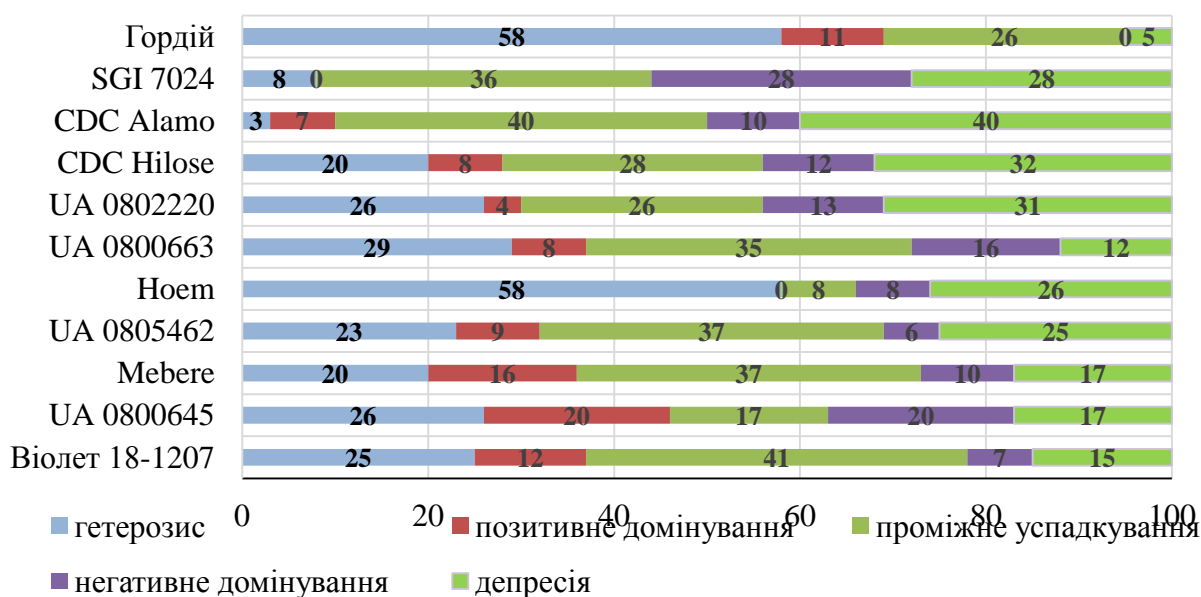


Рисунок 4.1 – Частота типів взаємодії генів у F_1 за материнськими компонентами в різних умовах середовища, 2023–2025 рр.

Щодо батьківських компонентів, то найчастіше гетерозис відмічено в комбінаціях, де батьківським компонентом були зразки CDC Hilose (59 %), значна частка гетерозису також за участі Явір, SGI 7024, Біолет 18-1207 (36–33 %) (рис. 4.2, дод. Г).

Проміжне успадкування, як і з материнськими компонентами, було основним типом взаємодії генів у більшості комбінацій схрещування, зокрема за участі сорту Ахіллес (70 %), далі – Ноем, UA 0805462, UA 0802220, Mebere, Авгур, UA 0800645 (50–24 %). Частка негативного наддомінування (депресії) була найбільшою в гібридних комбінаціях, де батьківськими компонентами були Авгур, CDC Alamo та Гордій (40–20 %) (див. рис. 4.2, дод. Г).

Доречно відмітити, що за участі зразків UA 085462 як материнського компоненту, Ахіллес – як батьківського, а Mebere – як материнського, так і батьківського частка гетерозису та депресії в гібридних популяціях є рівною.

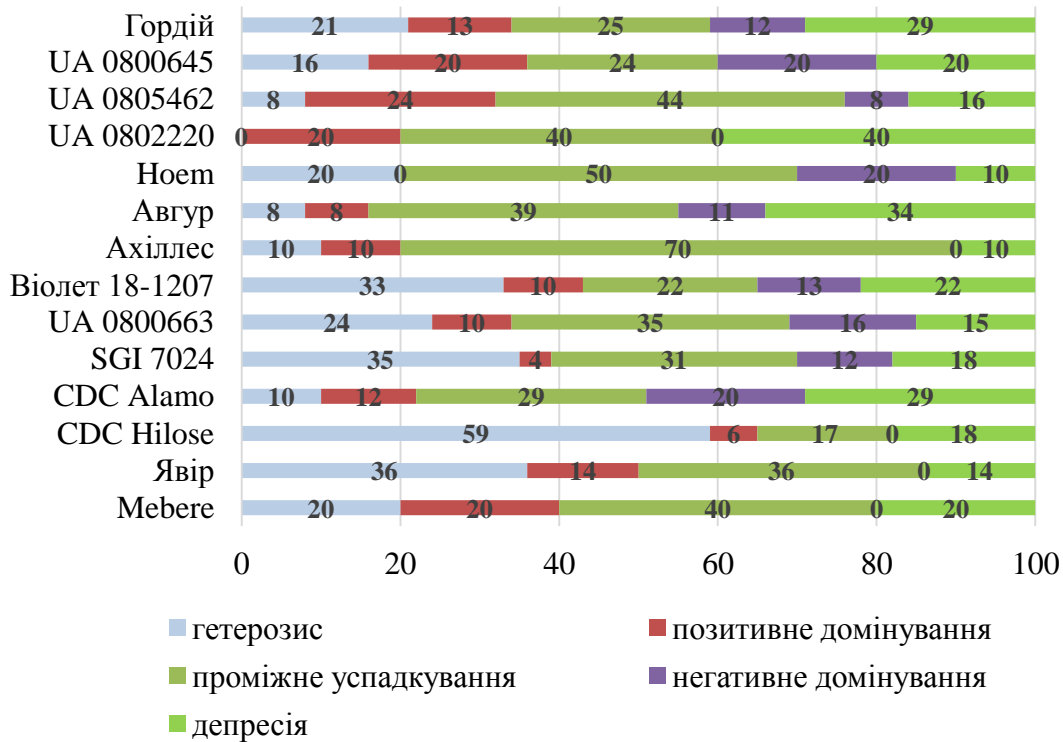


Рисунок 4.2 – Частота типів взаємодії генів у F₁ за батьківськими компонентами в різних умовах середовища, 2023–2025 рр.

За роками гетерозис найчастіше проявлявся в 2023 р., а у двох інших роках гетерозис за часткою прояву не мав істотних відмінностей. Доречно відмітити, в усі роки високою була частка проміжного успадкування, а в 2024 р. – негативного наддомінування (депресії) (табл. 4.1, дод. Г).

Таблиця 4.1 – Розподіл типів взаємодії генів у F₁ у залежності від умов року

Рік	Частота типів взаємодії генів, %				
	Гетерозис	Позитивне домінування	Проміжне успадкування	Негативне домінування	Негативне наддомінування
2023	44	9	31	4	12
2024	17	12	27	17	28
2025	21	9	39	12	19

Таким чином, доведено, що тип успадкування досліджених кількісних ознак у даній вибірці у F_1 залежить від умов середовища (погодних умов року), тому для оцінки гібридної популяції, окрім частоти, доцільно визначати ступінь гетерозису.

Серед трьох років дослідження найбільш низьким ступінь гетерозису за всіма кількісними ознаками (6,7–21,5 %) був у 2024 році, що пояснюється дуже несприятливими погодними умовами та низькою реалізацією потенціалу ячменю – як батьківських компонентів, так і рослин у гібридних популяціях F_1 . У сприятливих умовах 2025 року ступінь гетерозису був найвищим – 24,0–74,7 % (табл. 4.2, дод. Г). При цьому за розмахом ступеню негативного наддомінування за різними кількісними ознаками в залежності від погодних умов не прослідковується певної закономірності.

Таблиця 4.2 – Розмах ступеню гетерозису в F_1 за кількісними ознаками в залежності від умов року

Ознака	Ступінь гетерозису за роками, %						Максимальна депресія за роками		
	максимальний			мінімальний					
	2023	2024	2025	2023	2024	2025	2023	2024	2025
Висота рослин	15,0	6,7	25,4	1,7	1,7	1,2	-26,4	-20,0	-34,8
Довжина колоса	37,3	20,5	26,4	3,3	1,1	1,2	-43,6	-42,0	-22,0
Кількість зерен у колосі	14,3	10,5	24,0	10,7	7,4	3,2	-40,7	-64,0	-68,5
Щільність колоса	–	8,3	–	–	–	–	-40,0	–	-37,5
Вага зерна з головного колоса	50,8	21,5	74,7	1,2	5,5	0,6	-70,8	-52,7	-48,2

За ознаками найвищого ступеню гетерозис досягав за вагою зерна з головного колоса – до 74,7 % (див. табл. 4.2). Найбільш низьким гетерозис був за ознаками висота рослин та кількість зернівок у колосі, але в 2025 р. гетерозис досягав однакового максимуму за висотою рослин, довжиною колоса та кількістю зернівок у ньому. Так як величина гетерозису залежить від ступеня відмінності батьківських компонентів за певною ознакою, то можна зробити припущення, що гібридні рослини в сприятливих погодних умовах мали можливість повної реалізації свого перевищення над батьківськими компонентами.

Щодо залежності ступеню гетерозису за кількісними ознаками в F_1 від генотипу батьківських компонентів, то за висотою рослин ступінь гетерозису найвищим був з материнськими компонентами UA 0802220 (25,4 %), Mebere (15,0 %), Віолет18-1207 (14,7 %) (додаток Д), за довжиною колоса – Ноем (54,5 %), Mebere (37,3 %), Віолет18-1207 (31,6 %), Гордій (26,4 %) (рис. 4.3).

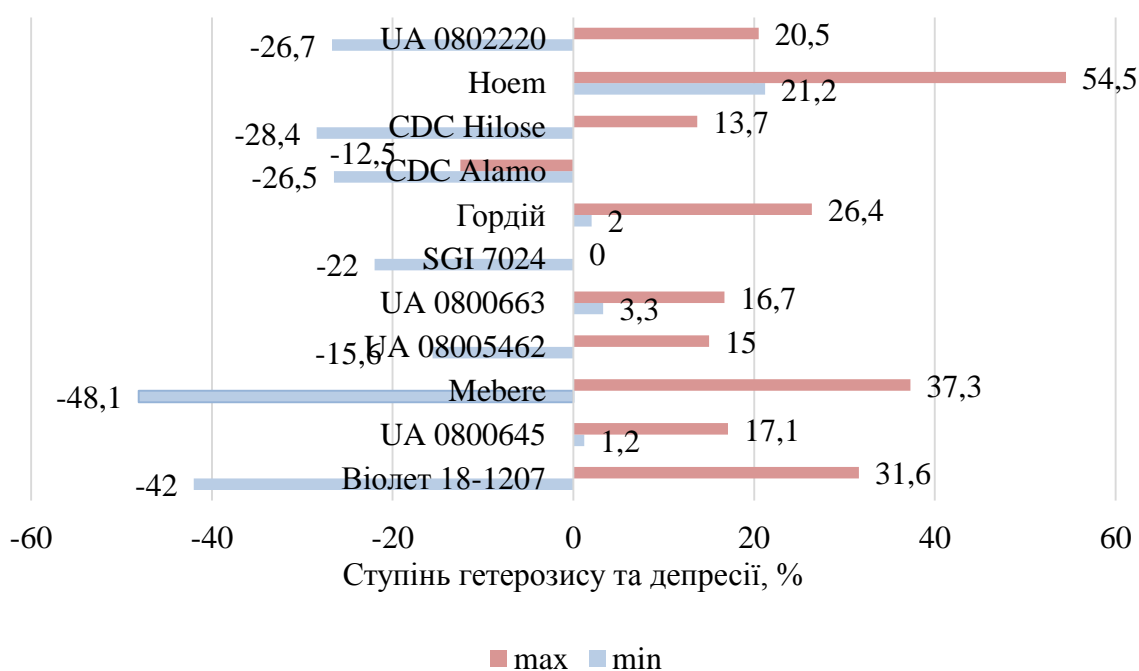


Рисунок 4.3 – Ступінь гетерозису та депресії в F_1 за материнськими компонентами за ознакою довжина колоса, 2023–2025 рр.

Великий ступінь гетерозису у гібридних рослин з материнським компонентом Ноєм *v. violaceum* пояснюється тим, що цей зразок має короткий колос (5–6 см), тому гібридні рослини набагато перевершують середнє значення батьківських компонентів за цією ознакою. Гібридні комбінації з материнським компонентом Ноєм не доцільно вважати джерелом високого ступеню гетерозису за довжиною колоса. Відсутність гетерозису у комбінаціях з материнським компонентом CDC Alamo пояснюється тим, що у сорту CDC Alamo колос дуже довгий – 11,4 см, до 13,0 см (дод. Б), тому гібридні рослини не перевищують середнє значення батьків за цією ознакою.

За кількістю зернівок у колосі найвищим ступінь гетерозису був у комбінаціях з материнськими компонентами Mebere (24,0 %), Віолет 18-1207 (14,3 %) (рис. 4.4). Високий ступінь негативного наддомінування з материнським компонентом UA 0802220 *v. himalayense* пояснюється тим, що зразок належить до шестирядного різновиду та має в порівнянні з дворядними велику кількість зернівок у колосі (до 72 штук), тоді як у іншого шестирядного зразка Ноєм *v. violaceum* кількість зернівок істотно менша – до 52 штук.

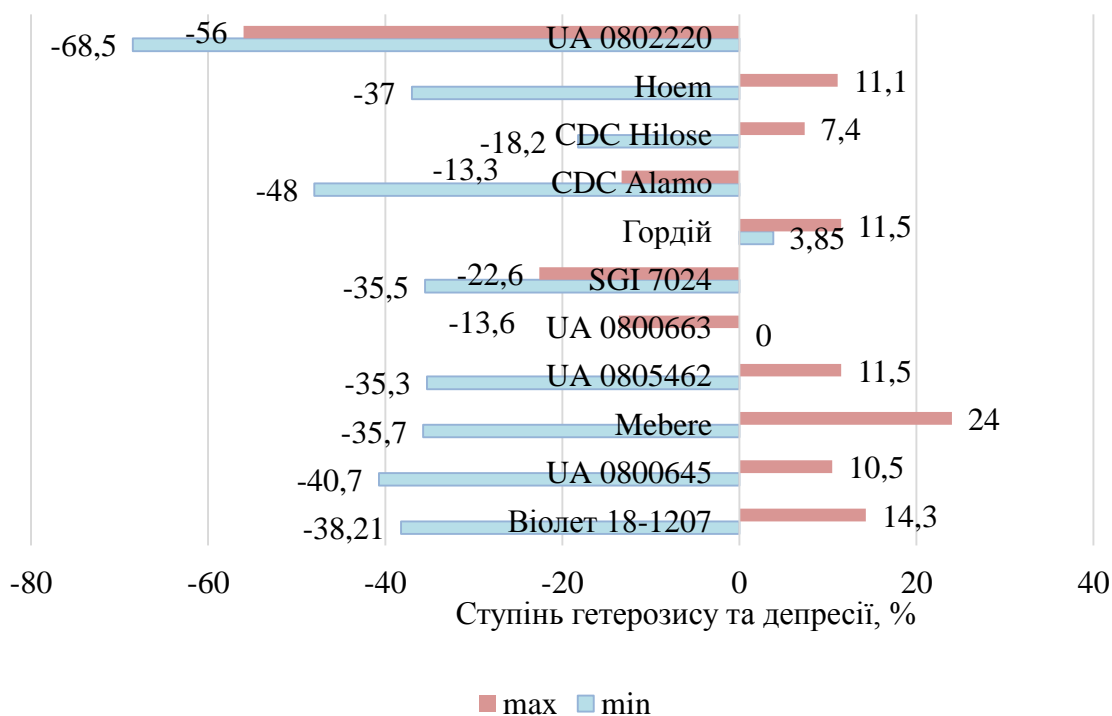


Рисунок 4.4 – Ступінь гетерозису та депресії в F_1 за материнськими компонентами за ознакою кількість зернівок у колосі, 2023–2025 рр.

За вагою зерна з колоса найвищим ступінь гетерозису був у комбінаціях з материнськими компонентами Віолет 18-1207 (74,7 г), Ноем (50,8 г), істотно меншим – UA 0805462 (26,8 г), Mebere (23,6 г) (рис. 4.5). Щодо відсутності гетерозису за вагою зерна з колоса у сорту CDC Alamo, то це можна пояснити тим, що у цього сорту крупне зерно, тому середнє за батьківськими компонентами має велике значення, яке гібридні рослини істотно не перевищують. Високий ступінь негативного наддомінування у гібридних популяціях з материнськими компонентами UA 0800645 (-70,8 %), UA 0802220 (-52,7 %), UA 0800663 (-47,6 %), навпаки, можна пояснити тим, що ці зразки мають дрібне зерно та передають цю ознаку потомству.

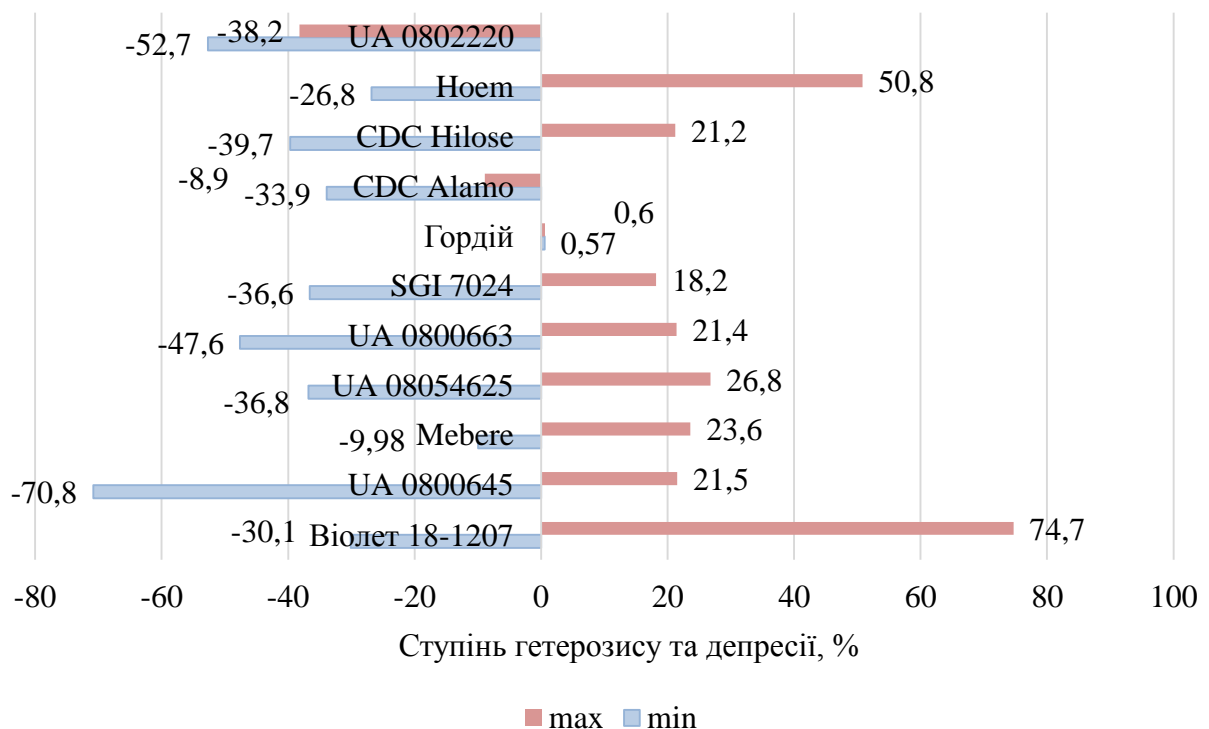


Рисунок 4.5 – Ступінь гетерозису та депресії в F_1 за материнськими компонентами за ознакою вага зерна з колосу, 2023–2025 рр.

Щодо впливу батьківських компонентів на ступінь гетерозису за кількісними ознаками, то за висотою рослин ступінь був найвищим у гібридних комбінаціях з батьківськими компонентами Явір (15,0 %), SGI 7024 (14,7 %), Гордій (12,9 %), Віолет 18-1207 (11,8 %), негативне наддомінування було найсильнішим у комбінаціях з SGI 7024 (-34,8 %), UA 0800663 (-26,4 %), CDC Alamo (-20,7 %) (дод. Д). У комбінаціях з батьківськими компонентами Гордій, Явір, UA 0800645, CDC Hilose не встановлено негативного наддомінування за висотою рослин. За довжиною колоса ступінь гетерозису був найвищим за батьківських компонентів Явір (37,3 %), SGI 7024 (30,5 %), UA 0800645 (26,4 %), UA 0800663 (20,5 %), а наддомінування (депресії) – із лінією Віолет18-1207 (-48,1 %), сортом CDC Alamo (-43,6 %), зразком UA 0800663 (-28,4 %), при цьому із сортом CDC Alamo гетерозис був відсутній (рис. 4.6).

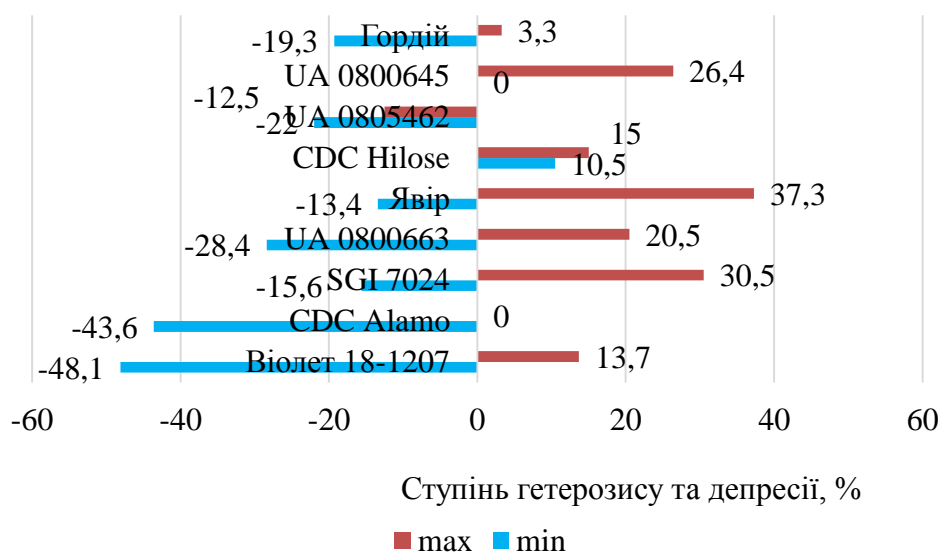


Рисунок 4.6 – Ступінь гетерозису та депресії в F_1 за батьківськими компонентами за ознакою довжина колоса, 2023–2025 рр.

Як і у варіантах з материнськими компонентами, це пояснюється тим, що у сорту CDC Alamo колос дуже довгий, тому гібридні рослини не перевищують середнє значення батьків за цією ознакою.

За кількістю зернівок у колосі ступінь гетерозису був найвищим за батьківських компонентів Явір (24,0 %), Віолет 18-1207 та SGI 7024 (14,3 %),

ступінь депресії –Віолет18-1207 (56,0 %), CDC Alamo (4,7 %), SGI 7024 та UA 0800663 (38,7 %), CDC Hilose (37,0 %) (рис. 4.7).

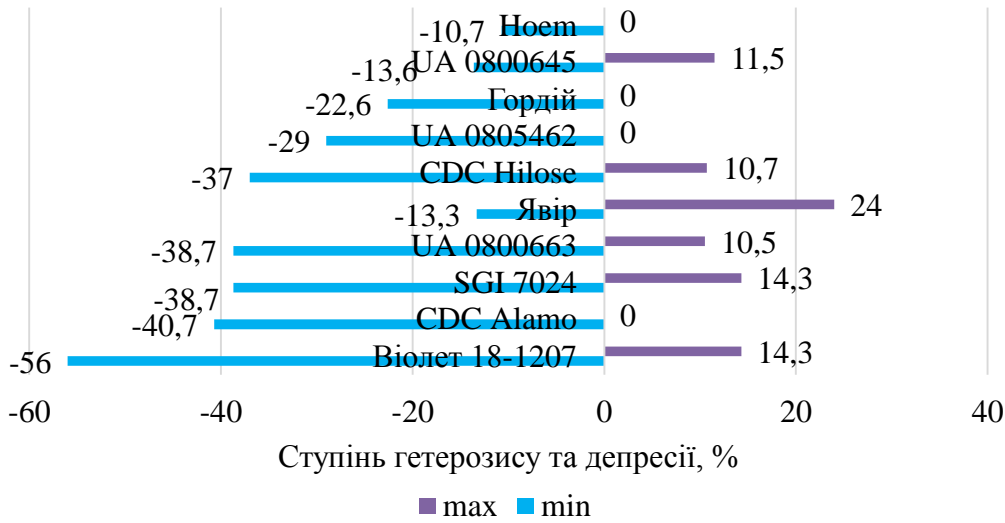


Рисунок 4.7 – Ступінь гетерозису та депресії в F₁ за батьківськими компонентами за ознакою кількість зернівок у колосі, 2023–2025 рр.

У комбінаціях з батьківськими компонентами Ноем, Гордій, UA 0805462, CDC Alamo гетерозис був відсутній.

За вагою зерна з колоса ступінь гетерозису був найвищим у гібридних популяціях з батьківськими компонентами UA 0800663 (74,7 %), SGI 7024 (50,8 %), CDC Hilose (32,9 %) (рис. 4.8).

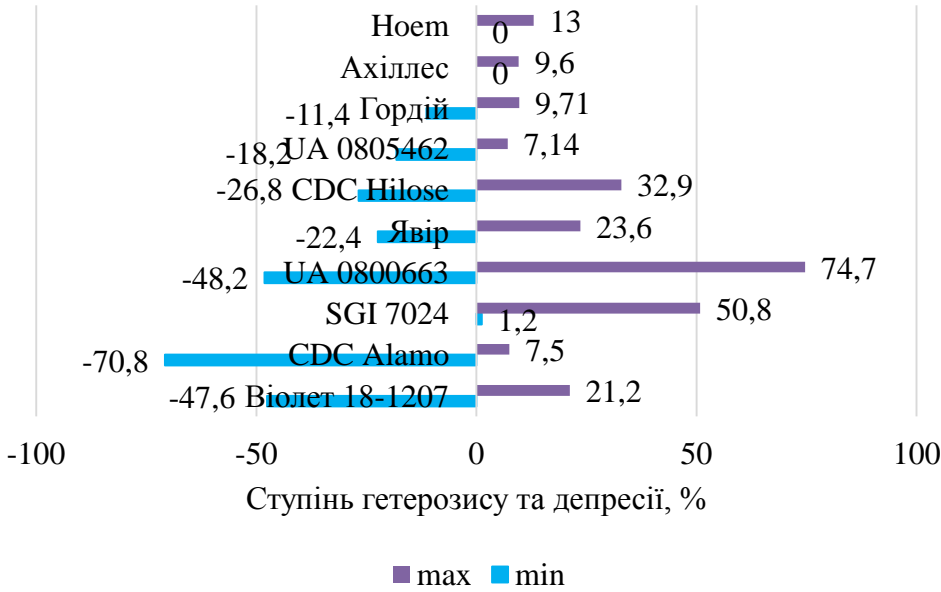


Рисунок 4.8 – Ступінь гетерозису та депресії в F_1 за батьківськими компонентами за ознакою вага зерна з колоса, 2023–2025 рр.

При цьому негативне наддомінування за вагою зерна з колоса було найвищим за батьківських компонентів CDC Alamo (-70,8 %), UA 0800663 (48,2 %), Віолет 18-1207 (47,6 %), а за батьківських компоненті Ноем, Ахіллес та SGI 7024 депресія відсутня (див. рис. 4.8).

Таким чином, нами доведено, що тип взаємодії генів, частота та ступінь прояву гетерозису при успадкуванні кількісних ознак у голозерного ячменю залежить від погодних умов та генотипу батьківських компонентів. Але дійти остаточного висновку щодо перспективних комбінацій схрещування неможливо лише за одним із компонентів, тому в селекційному процесі вважаються перспективними ті гібридні комбінації, в яких переважає кількість гетерозисних ознак. За визначальними для селекції на продуктивність ознаками (довжина колоса, кількість зернівок у колосі та вага зерна з колоса) в нашому дослідженні впродовж трьох років такими комбінаціями виявилися наступні (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Гібридні комбінації з переважною кількістю гетерозисних ознак за довжиною колоса, кількістю зернівок у колосі та вагою зерна з колоса в залежності від умов року

Комбінація схрещування	Рік	Кількість ознак
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Віолет 18-1207 / CDC Hilose	2023	3
Віолет 18-1207 / SGI 7024	2023	3
Meberе / Явір	2023	2
	2025	3
UA 0805462 / SGI 7024	2023	3
Ноем / SGI 7024	2023	3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
UA 0800663 / Віолет 18-1207	2023	1
	2024	2
UA 0800663 / SGI 7024	2023	2
	2025	1
Віолет 18-1207 / UA 0800663	2024	2
	2025	1
UA 0805462 / Віолет 18-1207	2024	1
	2025	2
UA 0800645 / UA 0800663	2024	3
UA 0805462 / CDC Hilose	2025	3
UA 0800663 / Гордій	2025	2
Гордій / UA 0800663	2025	2
Гордій / UA 0800645	2025	2
Гордій / Віолет 18-1207	2025	2
Віолет 18-1207 / Явір	2025	2

За низькою варіабельністю ознак довжина колоса і кількість зернівок у колосі, які є визначальними для рівня продуктивності колоса, було виділено як джерела зразки Віолет 18-1207, CDC Hilose, UA 0800663; джерела за високим ступенем гетерозису згаданих ознак – материнські компоненти Віолет18-1207, Гордій, Mebere, батьківські – Явір, Віолет 18-1207, SGI 7024, UA 0800663. Враховуючи загальну кількість гетерозисних ознак у комбінаціях схрещування та найвищий ступінь гетерозису за вагою зерна з колоса, було встановлено, що перспективними комбінаціями схрещування для одержання високопродуктивних гібридних рослин є Віолет 18-1207 / CDC Hilose, Ноем / SGI 7024, UA 0805462 / SGI 7024, Mebere /Явір, UA 0800663 / SGI 7024. Таким чином, найкращими материнськими компонентами для селекції голозерного ячменю з кольоровим зерном на високу продуктивність є Віолет 18-1207, Mebere, UA 0805462, батьківськими – SGI 7024, UA 0800663, Явір, Віолет 18-1207.

4.2 Розщеплення в гібридних популяціях F_2 та F_3 за кольором зерна, новоутворення в результаті рекомбінації генів

Більшість сортів ячменю мають жовте забарвлення зернівок, але також існують пігментовані сорти, які останнім часом привертають увагу як нові джерела функціональних харчових інгредієнтів [269, 270]. Різні типи забарвлення зерна контролюються різними генами, які можуть одночасно бути присутніми в геномі в домінантному стані та викликати комбіноване накопичення пігментів [271]. Але чорні меланіни, які накопичуються в зовнішній оболонці, маскують фіолетові та сині антоціани, які накопичуються в зерні більш глибоко.

За пігментацією зерна можна виділити чотири групи ячменю: жовтий, фіолетовий, синій та чорний [14]. У жовтому ячмені будь-які пігменти в зерні відсутні, фіолетовий та синій ячмінь накопичують антоціан у перикарпії та алеїроновому шарі зерна відповідно. Також можливе одночасне накопичення антоціанів в обох цих шарах; колір зерна такого ячменю інтенсивний фіолетовий або чорний. Виявлено, що генами, які контролюють біосинтез антоціанів у перикарпії зернівок, є два комплементарних гени *Ant1* та *Ant2* [14].

У результаті наших досліджень щодо забарвлення зернівок у гібридних поколіннях голозерного ячменю було рослин встановлено, що в F_1 над жовтим забарвленням домінує кольорове (табл. 4.4). При цьому за участі в схрещуванні лінії Віолет 18-1207 як за материнський, так і за батьківський компонент забарвлення зерна F_1 завжди було фіолетове. Але форма зерна у Віолет 18-1207 видовжено еліптична, а у F_1 за її участі – від округлої до видовжено еліптичної. При цьому в іншого зразка з фіолетовим зерном – Ноем подібна закономірність не встановлена. У гібридних рослин F_1 забарвлення зерна було як фіолетове, так і іншого кольору (блакитного при схрещуванні з SGI 7024) (див. табл. 4.4). Наші дані лише частково узгоджуються з даними Jia Q. et al. [272], Kim et al. [273], які стверджують,

що успадкування чорного і фіолетового забарвлення відбувається за материнським компонентом.

У гібридних популяціях за участі в схрещуваннях колекційного чорнозерного еректоїда зразка UA 0800645 гібридні рослини F_1 лише в комбінації UA 0800645 / CDC Alamo були еректоїдного типу, а в інших – нормального типу, середньої висоти з нещільним колосом. Доречно зауважити, що еректоїдні рослини характеризуються дуже ламким стрижнем колоса, що є небажаним для селекції.

При участі в схрещуванні зразків Ноем і UA 0802220 рослини деяких популяцій F_1 були типу *intermedium*, що пояснюється належністю згаданих до різновидів шестирядного ячменю *violaceum* і *himalayense*, а при схрещуванні дворядних і шестирядних різновидів часто з'являються саме такі інтермедіальні (проміжного типу) рослини.

Таблиця 4.4 – Забарвлення зернівок та особливості гібридних рослин F_1 , топкрос, 2023–2025 рр.

Забарвлення зернівок			Форма зернівки F_1	Особливості рослин F_1
♀	♂	F_1		
1	2	3	4	5
Віолет 18-1207	Явір	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетово-сірий
Віолет 18-1207	CDC Hilose	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетово-сірий
Віолет 18-1207	Mebera	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетово-сірий
Віолет 18-1207	CDC Alamo	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетово-сірий
Віолет 18-1207	Ахіллес	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетово-сірий
UA 0800663	Явір	зелене	видовжено еліптична	–
UA 0800663	CDC Alamo	зелене	видовжено еліптична	–
UA 0800645	CDC Alamo	чорне	еліптична	колос чорний, стрижень ламкий
UA 0800645	Явір	чорне	еліптична	колос чорний

1	2	3	4	5
Mebere	UA 0800663	зелене	еліптична	—
Mebere	Hoem	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетово-сірий
Mebere	UA 0800663	зелене	видовжено еліптична	—
Mebere	Віолет 18-1207	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетово-сірий
UA 0805462	CDC Alamo	сіро зелене	видовжено еліптична	—
UA 0805462	CDC Hilose	сіро зелене	видовжено еліптична	—
Hoem	SGI 7024	блакитне	еліптична	рослини дворядні
Hoem	CDC Hilose	фіолетове	ромбічна	колос фіолетовий, рослини інтермедіальні
UA 0802220	UA 0800663	зелене	еліптична	рослини інтермедіальні
UA 0802220	Віолет 18-1207	фіолетове	видовжено еліптична	—
CDC Hilose	Віолет 18-1207	фіолетове	видовжено еліптична	—
CDC Hilose	UA 0800663	зелене	видовжено еліптична	—
CDC Alamo	Віолет 18-1207	фіолетове	видовжено еліптична	—
CDC Alamo	UA 0802220	зелене	видовжено еліптична	рослини інтермедіальні

З метою дослідження впливу материнського компонента на успадкування забарвлення зернівок у F_1 у 2024 році було проведено серію діалельних схрещувань за повною схемою, всього 30 комбінацій з шістьма вихідними компонентами. За результатами опису гібридних рослин встановлено, що в F_1 домінує чорне забарвлення зернівок, за відсутності чорнозерного та присутності фіолетовозерного компонента – фіолетове (табл. 4.5). При схрещуванні вихідних компонентів з зеленим, сіро- зеленим чи блакитним забарвленням зернівок домінує, як правило, забарвлення материнського компонента.

Форма зернівок у переважної більшості популяцій видовжено еліптична, тобто найбільше розповсюджена у ячменю. За участі у схрещуваннях зразків UA 0800663 та SGI 7024 форма зернівки може бути

еліптична, а з SGI 7024 зустрічається кругла (див. табл. 4.5). Для голозерного ячменю кругла форма зернівок є особливо цінною, тому що при обмолоті у такого зерна не відбивається зародок. А саме в зародку міститься найбільше корисних для функціонального харчування речовин (нутріцевиків) – антиоксидантів та олії.

Таблиця 4.5 – Забарвлення зернівок та особливості гібридних рослин F₁, діалельні схрещування, 2025 р.

Забарвлення зернівок			Форма зернівки F ₁	Особливості рослин F ₁
♀	♂	F ₁		
1	2	3	4	5
UA 0800663	UA 0805462	зелене	еліптична	–
UA 0805462	UA 0800663	сіро зелене	еліптична	–
UA 0800663	UA 0800645	чорне	видовжено еліптична	остюки жовті, колос темно сірий
UA 0800645	UA 0800663	чорне	видовжено еліптична	колос чорний
UA 0800663	Віолет 18-1207	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетовий
Віолет 18-1207	UA 0800663	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетовий
UA 0800663	SGI 7024	зелене	еліптична	–
SGI 7024	UA 0800663	блакитне	еліптична	–
UA 0800663	Гордій	зелене	еліптична	–
Гордій	UA 0800663	зелене	еліптична	–
UA 0805462	UA 0800645	чорне	видовжено еліптична	рослини звичайні
UA 0800645	UA 0805462	чорне	видовжено еліптична	рослини звичайні
UA 0805462	Віолет 18-1207	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетовий
Віолет 18-1207	UA 0805462	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетовий
UA 0805462	SGI 7024	сіро-зелене	видовжено еліптична	колос сірий
SGI 7024	UA 0805462	сіро-зелене	видовжено еліптична	–
UA 08005462	Гордій	сіро-зелене	видовжено еліптична	–
Гордій	UA 0805462	сіро-зелене	еліптична	–

1	2	3	4	5
UA 0800645	Віолет 18-1207	чорне	видовжено еліптична	рослини звичайні
Віолет 18-1207	UA 0800645	чорне	видовжено еліптична	еректоїд
UA 0800645	SGI 7024	чорне	видовжено еліптична	рослини звичайні
SGI 7024	UA 0800645	чорне	видовжено еліптична	рослини звичайні
UA 0800645	Гордій	чорне	видовжено еліптична	рослини звичайні
Гордій	UA 0800645	чорне	видовжено еліптична	рослини звичайні
Віолет 18-1207	SGI 7024	фіолетове	еліптична	—
SGI 7024	Віолет 18-1207	фіолетове	кругла	—
Віолет 18-1207	Гордій	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетовий
Гордій	Віолет 18-1207	фіолетове	видовжено еліптична	колос фіолетовий
SGI 7024	Гордій	блакитне	еліптична	—
Гордій	SGI 7024	блакитне	еліптична	—

За участі як батьківського компонента чорнозерного еректоїда UA 0800645 еректоїдні рослини були лише в одній гібридній популяції – при схрещуванні з Віолет 18-1207, в інших варіантах рослини F_1 були звичайними. Серед інших особливостей гібридних рослин слід відмітити утворення рослин з жовтими остюками і соломиною та темно-сірим або сірим колосом, що не було характерним для вихідних зразків.

У популяціях F_2 відбувалося розщеплення за кольором зерна. За результатами поділу популяцій F_2 за забарвленням зернівок було встановлено, що успадкування цієї ознаки у ячменю можна пояснити взаємодією неалельних генів переважно за типом комплементарності (табл. 4.6). За такого типу успадкування домінантні гени не мають самостійного прояву і лише разом обумовлюють певне забарвлення зернівки. Окрім комплементарності, зустрічаються також повне домінування, домінантний епістаз (домінантний алель одного гена пригнічує прояв інших генів),

кумулятивна полімерія (ступінь розвитку ознаки залежить від кількості полімерних генів, тобто генів, які діють в однаковому напрямку, підсилюючи один одного).

Таблиця 4.6 – Розщеплення в гібридних популяціях F_2 голозерного ячменю за забарвленням зернівки, 2024–2025 рр.

Комбінація схрещування	Співвідношення рослин за забарвленням зернівки, частка						χ^2	Тип успадкування
	жовте	зелене	сіро- зелене	блакит- не	чорне	фіоле- тове		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Віолет 18- 1207 / SGI 7024	–	–	–	1	–	3	0,01	Повне домінування
Віолет 18- 1207 / Mebere	1	–	–	–	–	2	1,42	Комплемен- тарність
Віолет 18- 1207 / CDC Hilose	1	–	–	–	–	4	0,06	Домінантний епістаз
Віолет 18- 1207 / Явір	1	–	–	–	–	1,8	1,97	Комплемен- тарність
UA 0800663 / SGI 7024	–	1	–	1	–	–	0,14	Комплемен- тарність
UA 0800663 / Явір	1	1	–	–	–	–	0,28	Комплемен- тарність
UA 0800663 / Віолет 18- 1207	–	1	–	–	–	1,8	2,67	Комплемен- тарність
UA 0805462 / SGI 7024	–	–	1,5	1	–	–	0,82	Комплемен- тарність
UA 0805462 / CDC Hilose	15	–	1	–	–	–	0,56	Кумулятивна полімерія
Ноем / SGI 7024	шести- рядні	–	–	–	2	–	0,09	Комплемен- тарність
	інтер- меді- ум	–	–	–	1	–		
Ноем / CDC Alamo	шести- рядні	1	–	–	–	1	0,25	Комплемен- тарність
	інтер- меді- ум	1	–	–	–	1		

1		2	3	4	5	6	7	8	9
UA 0802152 / UA 0800663		1	2	–	–	–	–	3,17	Комплементарність
UA 0800645 / Явір	звичайні	1	–	–	–	3	–	0,30	Повне домінування
	еректоїди	1	–	–	–	1	–		
UA 0800645 / CDC Alamo		1	–	–	–	7	–	0,49	Домінантний епістаз
Meber / UA 0800663		3	1	–	–	–	–	0,04	Повне домінування
UA 0802152 / UA 0663		1	2	–	–	–	–	3,17	Комплементарність

Доречно зауважити, що в F_2 домінує забарвлення зернівки таке ж, як було в F_1 . У деяких гібридних популяціях виявлено новоутворення, тобто комплементарна взаємодія генів супроводжувалася утворенням генотипів, які не були схожими ні на жоден з батьківських компонентів.

Так, в гібридних популяції Ноем / SGI 7024 було виявлено рослини інтермедіального типу з фіолетовим і блакитним зерном та рослини шестирядні з блакитним зерном. У популяції Ноем / CDC Alamo – рослини інтермедіального типу з фіолетовим і жовтим зерном та шестирядні з жовтим зерном.

У гібридній популяції UA 0800645 / Явір виявлено рослини звичайні з чорним зерном та еректоїди з жовтим зерном; у популяції UA 0800645 / CDC Alamo – чорнозерні рослини з сірим колосом, жовтими остюками та жовтою соломиною.

Рослини F_2 розділяли на окремі групи за забарвленням зернівок, наступного року і групи висівали кожен окремо та в наступному гібридному поколінні знову визначали розщеплення за забарвленням зерна в залежності від кольору зернівок у F_2 .

За результатами дослідження було встановлено, що у F_3 розщеплення продовжується, рослини поділяються на різні за кількістю групи. При цьому

перевагу за кількістю має група рослин із забарвленням зернівок таким, як було в F_2 .

Наприклад: у гібридній популяції F_3 UA 0800663 / Віолет 18-1207 при розщепленні групи з фіолетовим забарвленням утворюється 95 % фіолетовозерних та 5 % зелених, а при розщепленні групи із зеленим зерном – 89 % зелених та 11 % фіолетових (рис. 4.9, табл. 4.7).



Рисунок 4.9 – Розщеплення гібридної популяції UA 0800663 / Віолет 18-1207, група фіолетовозерних

Аналогічна ситуація спостерігається також в інших популяціях F_3 . Окрім того, в популяції UA 0800663 / Віолет 18-1207 виділено рослини нового фенотипу – жовті рослини з фіолетовими остюками.

Але особливої уваги заслуговують гібридні популяції F_3 , утворені в результаті схрещування з батьківськими компонентами Ноем (шестирядний, фіолетова зернівка) та UA 0800645 (чорнозерний еректоїд).

Так, у популяції Ноем / SGI 7024 групи шестирядних фіолетовозерних та дворядних блакитнозерних не розщепляються за кольором зернівок, тобто це групи, які за фенотипом

відповідають батьківським компонентам. У таких групах відбувається розщеплення за рядністю колоса, при цьому переважають шестирядні рослини (див. табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Розщеплення в гібридних популяціях F₃ голозерного ячменю за забарвленням зернівки, 2025 р.

Гібридна комбінація	Забарвлення зернівки та особливості рослин F ₂	Співвідношення рослин за забарвленням зернівки, частка, особливості рослин						
		жовте	зелене	сіро-зелене	блакитне	фіолетове	чорне	оранжеве
1	2	3	4	5	6	7	8	9
UA 0800663 / Явір	зелене	32	68	—	—	—	—	—
	жовте	59	41	—	—	—	—	—
UA 0805462 / SGI 7024	сіро-зелене	—	—	52	48	—	—	—
	блакитне	—	—	41	59	—	—	—
Mebere / UA 0800663	зелене	42	58	—	—	—	—	—
	жовте	53	47	—	—	—	—	—
UA 0800663 / SGI 7024	зелене	—	52	—	48	—	—	—
	блакитне	—	46	—	54	—	—	—
UA 0800663 / Віолет 18-1207	зелене	—	89	—	—	11 рослин жовті, остюки фіолетові	—	—
	фіолетове	—	5	—	—	95	—	—
UA 0800663 /SGI 7024	блакитне	—	29	—	71	—	—	—
	зелене	—	68	—	32	—	—	—
Ноем / SGI 7024	фіолетове, шестирядні	—	—	—	—	78 шестирядні 22 інтермедіум	—	—
	блакитне, дворядні	—	—	—	44 шестирядні 56 дворядні	—	—	—
	блакитне, шестирядні	—	—	—	13 шестирядні 19 інтермедіум	61 шестирядні 7 інтермедіум	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	блакитне, інтермедіум	—	—	—	45 інтер- медіум 2 шести- рядні	43 інтер- медіум 10 шести- рядні	—	—
	фіолетове, інтермедіум	—	—	—	11 інтер- медіум 1 шести- рядні	61 інтер- медіум 27 шести- рядні	—	—
UA 0805462 / CDC Hilose	сіро-зелене	—	—	100	—	—	—	—
UA 0800645 / Явір	чорне, еректоїди	25 еректо- їди	—	—	—	—	75 еректо- їди	—
	чорне, звичайні	14 звичайні 10 еректо- їди	—	—	—	—	73 звичайні 3 еректо- їди	—
	жовте, еректоїди	100 еректо- їди	—	—	—	—	—	—
UA 0800663/ CDC Alamo	зелене	45	55	—	—	—	—	—
	жовте	57	43	—	—	—	—	—
Ноем / CDC Alamo	фіолетове, інтермедіум	8 інтер- медіум 4 шести- рядні	—	—	—	11 шести- рядні, рослини жовті 69 інтер- медіум	—	8 шести- рядні
	фіолетове, шестирядні	45 шести- рядні 14 інтер- медіум	—	—	—	29 інтер- медіум 12 шести- рядні	—	—
	жовте, шестирядні	31 інтер- медіум 47 шести- рядні	—	—	—	8 інтер- медіум 5 шести- рядні	—	9 шести- рядні

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	жовте, інтермедіум	26 інтер- медіум 18 шести- рядні	–	–	–	41 інтер- медіум 15 шести- рядні	–	–
Віолет 18- 1207 / Mebere	фіолетове	16	–	–	–	84	–	–
	зелене	–	85	–	–	15	–	–
Віолет 18- 1207 / SGI 7024	блакитне	–	–	–	100	–	–	–
	фіолетове	–	–	–	29	81	–	–
Віолет 18- 1207 / CDC Hilose	фіолетове	7	–	–	–	93	–	–
	жовте	93	–	–	–	7	–	–
UA 0800645 / CDC Alamo	чорне, еректоїди	23 звичай- ні 5 еректо- їди	–	–	–	–	34 звичай- ні 38 еректо- їди	–

Але групи з невластивим батьківським компонентам фенотипом (блакитні шестирядні, блакитні та фіолетові інтермедіум) продовжують розщеплятися як за кольором зернівок, так і за рядністю колоса.



Рисунок 4.10 – Розщеплення в популяції Ноем / CDC Alamo

Щодо іншою гібридною популяції F_3 за участі схрещуванні материнського компонента Ноем (Ноем / CDC Alamo), то група шестирядних фіолетовозерних рослин розщепляється на жовті та фіолетові різної рядності. При цьому в цій популяції виділено лінії, які не належать до жодного з описаних сучасних різновидів ячменю – шестирядні голозерні з блакитним та оранжевим зерном, так звані новоутворення (див. табл. 4.7, рис. 4.10).

У гібридних популяціях, утворених за участі чорнозерного еректоїда UA 0800645, розщеплення також відбувається за різними схемами в залежності від родоводу. Так, у популяції UA 0800645 / Явір утворилися групи чорнозерних звичайних рослин та чорно- і жовтозерних еректоїдів. Обидві чорнозерні групи розщепляються на чорні та жовті, але група чорнозерних звичайних – ще й на звичайні і еректоїди. А група жовтозерних еректоїдів, які за фенотипом не відповідають вихідним компонентам, не розщепляються (див. табл. 4.7).

В іншій популяції F_3 (UA 0800645 / CDC Alamo) група чорнозерних еректоїдів розщепляється на звичайні і еректоїди та на жовті і чорні. Окрім цього, в цій популяції виділено новоутворення – чорнозерні еректоїди із сірим колосом та світлими остюками і соломиною.

Висновки до розділу 4.

1. Успадкування кількісних ознак у F_1 голозерного ячменю відбувається за різними типами взаємодії генів – гетерозис (наддомінування), позитивне та негативне домінування, проміжне успадкування, негативне наддомінування (депресія). Тип успадкування залежить від умов середовища та генотипу батьківських компонентів.

2. У залежності від умов року гетерозис найчастіше проявлявся в 2023 р., а у 2024 і 2025 рр. гетерозис за часткою прояву не мав істотних відмінностей. В усі роки високою була частка проміжного успадкування, а в 2024 р. – негативного наддомінування (депресії).

3. Ступінь гетерозису за всіма кількісними ознаками найбільш низьким був у 2024 році (6,7–21,5 %), що пояснюється дуже несприятливими погодними умовами та низькою реалізацією потенціалу рослин ячменю. У сприятливих умовах 2025 року ступінь гетерозису був найвищим – 24,0–74,7 %

4. За ознаками найвищого ступеню гетерозис досягав за вагою зерна з головного колоса – до 74,7 %. Виділено материнські та батьківські

компоненти з найвищими ступенями гетерозису за висотою рослин, довжиною колоса, кількістю зернівок та вагою зерна з колоса.

5. Виділено перспективні гібридні комбінації, в яких переважає кількість гетерозисних ознак, у таких комбінаціях підвищується можливість виділення в наступних поколіннях трансгресивних сегрегантів.

6. Установлено, що визначальними для рівня продуктивності колоса є ознаки довжина колоса і кількість зернівок у колосі. За низькою варіабельністю, високим ступенем гетерозису згаданих ознак та враховуючи загальну кількість гетерозисних ознак у комбінаціях схрещування і найвищий ступінь гетерозису за вагою зерна з колоса, було встановлено, що перспективними комбінаціями схрещування для одержання високопродуктивних гібридних рослин є Віолет 18-1207 / CDC Nilose, Ноем / SGI 7024, UA 0805462 / SGI 7024, Mebere / Явір, UA 0800663 / SGI 7024.

7. Виділено найкращі материнські компоненти для селекції голозерного ячменю з кольоровим зерном на високу продуктивність є Віолет 18-1207, Mebere, UA 0805462, батьківські – SGI 7024, UA 0800663, Явір, Віолет 18-1207.

8. Щодо забарвлення зернівок у гібридних поколіннях голозерного ячменю було рослин встановлено, що в F_1 над жовтим забарвленням домінує кольорове. При цьому за участі в схрещуванні фіолетовозерної лінії Віолет 18-1207 як за материнський, так і за батьківський компонент забарвлення зерна рослин F_1 завжди було фіолетове. У F_2 відбувається розщеплення за кольором зерна переважно за типом комплементарності, при цьому домінує колір зернівок такий же, який був у рослин F_1 .

9. Установлено, що у F_3 розщеплення продовжується, рослини за кольором зернівок поділяються на різні за кількістю групи. При цьому перевагу за кількістю рослин має група із забарвленням зернівок таким, як було в F_2 .

10. Особливої уваги заслуговують гібридні популяції F_3 , утворені в результаті схрещування з батьківськими компонентами Ноем (шестирядний, фіолетова зернівка) та UA 0800645 (чорнозерний еректоїд). У цих популяціях

розщеплення відбувається як за кольором зернівок, так і за рядністю колоса та типом рослини (еректоїди та звичайні).

11. У результаті рекомбінації генів отримано нові варіанти поєднання цінних ознак, виділено новоутворення з ознаками, нехарактерними для батьківських компонентів, тобто комплементарна взаємодія генів супроводжувалася утворенням генотипів, які не були схожими ні на жоден з батьківських компонентів. Створено рослини, які не відносяться до жодного із описаних сучасних різновидів голозерного ячменю – шестирядні з блакитним та оранжевим зерном, чорнозерні еректоїди із сірим колосом та світлими остюками і соломиною, жовті дворядні рослини з фіолетовими остюками. Це розширює генетичне різноманіття голозерного ярого ячменю.

РОЗДІЛ 5 ОСОБЛИВОСТІ СОРТІВ ТА ЛІНІЙ ГОЛОЗЕРНОГО ЯЧМЕНЮ ЗА ХАРЧОВИМИ ЯКОСТЯМИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗАБАРВЛЕННЯ ЗЕРНА

5.1 Вміст білка та крохмалю у зерні зразків голозерного ячменю

У системі пре-бридингу в Інституті рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН було досліджено вихідний матеріал для селекції харчового голозерного ячменю, в тому числі з кольоровим зерном, за якісними характеристиками. Зразки з кращими властивостями були за батьківські компоненти в гібридизації. Зокрема, враховували врожайність та стійкість до біо- та абіотичних чинників, показники структурних елементів продуктивності, серед якісних характеристик – вміст та якість білка, крохмалю, олії, різних фітонутрієнтів, також рівень антиоксидантної активності. В наших попередніх дослідженнях було визначено показники якості зерна у зразків, які обрано батьківськими компонентами. Зокрема, встановлено, що вміст білка у зразків UA 0805462 var. *daghestanicum* (сіро-зелене зерно) та UA 0800663 var. *viride* (зелене зерно) вищий за 17 %, у інших зразків – 16–14 %. Вміст крохмалю найвищим був у лінії оригінальної інституту Віолет 18-1207 var. *nudidubium* – 66,20 %, інші зразки – на рівні 65,35–61,67 % [258].

Одним із найбільш цінних поживних речовин є білок, який неможливо замінити іншими речовинами, так як він належить до незамінних речовин, його значення для життєдіяльності організму людини неможливо переоцінити. Тому однією із задач селекції ячменю є створення високобілкових сортів ячменю як однієї з найцінніших зернових культур для функціонального харчування. В селекції дуже широко проводять дослідження із залежності вмісту білка від умов середовища та генотипу, але результати відрізняються як за місцем проведення, так і за сортами. Тому продовження подібних дослідів не втрачає актуальності.

Чисельні дослідження в усьому світі підтверджують, що вміст білка в зерні голозерного ячменю, як правило, істотно вищий, ніж у плівчастого [63, 68, 75, 89, 92, 93, 112, 125]. Результати наших попередніх досліджень узгоджуються з цими твердженнями [64, 98, 99, 100].

Також однією із зовнішніх ознак якості зерна є його склоподібність. У наших попередніх дослідженнях було підтверджено істотно вищу склоподібність голозерних зразків у порівнянні з плівчастими, при цьому в усіх голозерних зразків вона була дуже високою – 85–100 % у залежності від умов середовища [64]. Між голозерними зразками за склоподібністю істотної різниці не виникало, тому в сучасних наших дослідженнях увагу було акцентовано на вмісті білка та крохмалю і співвідношенні цих цінних нутрієнтів. У результаті наших досліджень було встановлено, що вміст білка залежить від генотипу та умов року, але в залежності від останнього чинника відмінність була неістотною. Найменшою кількістю білка була за сприятливої вологозабезпеченості 2025 р., але ця відмінність не була значною (табл. 5.1, 5.2).

Таблиця 5.1 – Вміст білка в зерні голозерних зразків ячменю в залежності від генотипу та року вирощування

Зразок	Вміст білка, %			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	середнє
Гордій	15,05	15,56	12,67	14,43
Явір	14,65	13,11	12,40	13,39
Віолет 18-1207	16,92	16,79*	18,29*	17,33*
CDC Alamo	16,85	17,61*	14,94	16,47*
Mebere	15,10	14,31	12,64	14,02
CDC Hilose	14,60	14,21	15,39	14,73
UA 0800645	17,57*	17,25*	16,33*	17,05*
UA 0800663	19,02*	19,21*	17,98*	18,74*
UA 0805462	17,83*	14,99	13,95	15,59
Ноем	16,74	16,56	14,36	15,89
UA 0802220	16,84	16,49	18,06*	17,12*
SGI 7024	16,08	15,68	16,38*	16,05
Середнє за роками	16,44	15,98	15,28	15,90

Примітка. * – істотне перевищення середнього по вибірці значення.

Так, за результатами апостеріорного порівняння за однорідними групами по Fisher LSD середнє значення по вибірці (15,90 %) істотно перевищують зразки UA 0800645^{af} (17,05 %), UA 0802220^{af} (17,13 %), Віолет 18-1207^{af} (17,33 %), UA 0800663^f (18,73 %). Істотно менше середнього вмісту білка було у зразків Явір^e (13,38 %), Mebere^{be} (14,01 %), Гордій^{bce} (14,43 %), CDC Hilose^{bcd} (14,73 %) (див. табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Розподіл зразків голозерного ячменю за вмістом білка за результатами апостеріорного порівняння за однорідними групами по LSD test

Зразок	Вміст білка, %	Група за вмістом білка					
		a	b	c	d	e	f
Явір	13,38667					****	
Mebere	14,01667		****			****	
Гордій	14,42667		****	****		****	
CDC Hilose	14,73000		****	****	****	****	
UA 0805462	15,59000	****	****	****	****		
Ноем	15,88667	****	****	****	****		
SGI 7024	16,04667	****		****	****		
CDC Alamo	16,46667	****			****		
UA 0800645	17,05000	****					****
UA 0802220	17,13000	****					****
Віолет 18-1207	17,33333	****					****
UA 0800663	18,73333						****

Примітка. alpha = ,05000 Error: Between MS = 1,3058, df = 24,000

При цьому доречно відмітити, що вміст білка в усіх зразках голозерного ячменю в нашій вибірці є високим, так як більшість комерційних сортів пивоварного напряму використання мають вміст білка 10–12 %, зернового фуражного – 12–13 %. Щодо залежності вмісту білка від кольору зернівки, то у жовтозерних Явір, Mebere, Гордій, CDC Hilose він був значно нижчим, ніж у кольорових, за виключенням сорту CDC Alamo^{ad} (16,47 %). Найвищим

вміст білка був у разків із чорним, фіолетовим та зеленим зерном (див. табл. 5.1, 5.2).

Іншим важливим нутрієнтом є складний вуглевод крохмаль, особливе значення при цьому надається крохмалю зі зміненим складом. Звичайним складом крохмалю вважається відношення амілопектину до амілози 3 : 1, але найбільш цінними для функціонального харчування людини є крохмалі зі зміненим складом – ваху, який на 95–100 % складається з амілопектину та високоамілозний (high amylose), у якому вміст амілози не менше 40 %. Тому одним з важливих напрямів селекції ячменю є створення сортів саме зі зміненим складом крохмалю. Такі сорти є придатними для виробництва продукції профілактичного харчування, так як завдяки високій антиоксидантній здатності протидіють серцево-судинним хворобам, раку та цукровому діабету.

У результаті наших досліджень було встановлено, що за вмістом крохмалю істотні відмінності як за роками, так і за генотипом відсутні. Деяке перевищення за вмістом крохмалю було в 2025 р. (59,29 %), але воно незначне. Порівнюючи результати вмісту білка та крохмалю в зернівках голозерного ячменю, ми встановили, що наші дані підтверджують негативну кореляцію між вмістом білка та крохмалю в залежності як від умов року вирощування, так і від генотипу. Так, у 2025 р. вміст білка був найнижчим, а вміст крохмалю – найвищим. Те ж – щодо залежності від генотипу: найменше крохмалю було у високобілкових генотипів (див. табл. 5.1, 5.2, 5.3, 5.4).

Таблиця 5.3 – Вміст крохмалю в зерні голозерних зразків ячменю в залежності від генотипу та року вирощування

Зразок	Тип крохмалю	Вміст крохмалю, %			
		2023 р.	2024 р.	2025 р.	середнє
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
Гордій	звичайний	61,18	58,68	59,58	59,81
Явір	звичайний	59,25	61,72	57,89	59,62

1	2	3	4	5	6
Віолет 18-1207	звичайний	57,11	54,39	58,64	56,71
CDC Alamo	waxy	58,09	53,21	56,52	55,94
Mebere	waxy	57,35	55,39	58,27	57,00
CDC Hilose	high amylose	57,44	55,26	59,03	57,24
UA 0800645	звичайний	59,12	58,35	61,84	59,77
UA 0800663	звичайний	54,73	50,98	58,66	54,79
UA 0805462	звичайний	55,18	56,46	61,31	57,65
Ноем	звичайний	57,06	53,97	61,15	57,39
UA 0802220	звичайний	57,20	53,36	59,53	56,70
SGI 7024	звичайний	59,48	57,10	59,03	58,54
Середнє за роками		57,77	55,74	59,29	57,60

Коефіцієнт кореляції між вмістом білка та крохмалю є істотним та складає -0,41.

Лише за попарного порівняння відмічено істотну різницю за вмістом крохмалю між зразками UA 0800663^b (54,79 %) та Явір^a (59,62 %), UA 0800645^a (59,77 %), Гордій^a (59,81 %) (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Розподіл зразків голозерного ячменю за вмістом крохмалю за результатами апостеріорного порівняння за однорідними групами по LSD test

Зразок	Вміст крохмалю, %	Група за вмістом крохмалю	
		a	b
1	2	3	4
UA 0800663	54,79000		****
CDC Alamo	55,94000	****	****
UA 0802220	56,69667	****	****
Віолет 18-1207	56,71333	****	****
Mebere	57,00333	****	****
CDC Hilose	57,24333	****	****
Ноем	57,39667	****	****
UA 0805462	57,65000	****	****
SGI 7024	58,53667	****	****

1	2	3	4
Явір	59,62000	****	
UA 0800645	59,77000	****	
Гордій	59,81333	****	

Примітка. LSD test; Homogenous Groups, alpha = ,05000 Error: Between MS = 6,2367, df = 24,000

У сортів зі зміненим складом крохмалю CDC Alamo (waxy, 55,94 %), Mebere (waxy, 57,0 %), CDC Hilose (high amylose, 57,24 %) вміст крохмалю був на рівні середнього по вибірці.

У залежності від умов року вирощування було встановлено, що 2024^b рік істотно відрізняється від 2023^a р. та 2025^a р., що можна пояснити жорсткою посухою в 2024 році.

5.2 Вміст цінних антиоксидантів (фенольних сполук та антоціанідинів) у зерні голозерного ячменю

Унікальні дієтичні властивості ячменю сформувалися як наслідок того, що він є одним з найбагатших джерел фенольних сполук серед зернових. Метою селекції ячменю з кольоровим зерном в Україні є біофортифікація харчової цінності зерна, так як високий вміст поліфенолів ініціює хорошу антиоксидантну активність, інгібує α -глюкозидазу. В результаті цього кольоровий ячмінь може бути потужним антиоксидантом та гіпоглікемічним продуктом [131, 13, 133, 136, 137, 138, 140, 141, 142, 143, 144, 145]. Прикладом цього є створена в інституті лінія Віолет 18-1207 різновиду *nudidubium*. Вся рослина цієї лінії має яскраве фіолетове забарвлення, зерно містить дуже велику кількість антоціанинів, крохмалю та олії. В селекційному процесі може бути джерелом цих властивостей. До того ж, Віолет 18-1207 характеризується високою стійкістю до сажкових і листових хвороб та до посухи. Такі дані узгоджуються з твердженнями інших учених про важливе агрономічні значення підвищеного вмісту кольорових пігментів у ячменю, оскільки теж пов'язують це зі стійкістю до стресових чинників різної природи, а саме – темнозабарвлені зразки мають у зерні вищий вміст фенольних сполук, які в свою чергу є основними складовими, що формують

антиоксидантну активність. Зразки з підвищеною АОА є більш стресостійкими [13, 45, 274, 275, 276, 277].

Але вся антиоксидантна активність (АОА) цих сполук зосереджена в периферійних шарах зернівки ячменю, при виготовленні продуктів з плівчастого ячменю під час шліфування із зерна видаляється частина цінних для здоров'я людини нутрієнтів, тому все більшу увагу виробників привертає голозерний ячмінь. У наших попередніх дослідженнях за високим вмістом фенольних сполук виділилися зразки Віолет 18-1207 var. *nudidubium* (1,04 мг/г за еквівалентом галоїдної кислоти), CDC Alamo (0,94 мг/г), Гордій, Mebere (0,89 мг/г) та Явір (0,81 мг/г) [278].

У роки дослідження 2023–2025 було встановлено вміст фенольних сполук у розширеної вибірки вихідних зразків. У результаті підтверджено висновки щодо високого вмісту фенольних сполук у сорту CDC Alamo (1,49 мг/г за еквівалентом галоїдної кислоти), лінії Віолет 18-1207 (1,34 мг/г) та встановлено високий вміст у зразків UA 0800663 (1,27 мг/г), UA 0802220 (1,17 мг/г), але низький – у сорту Mebere (0,61 мг/г) (табл. 5.5.).

Таблиця 5.5 – Вміст фенольних сполук у зерні зразків голозерного ячменю в залежності від генотипу та року вирощування

Зразок	Вміст фенольних сполук за роками, мг/г за еквівалентом галоїдної кислоти			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	середнє
Віолет 18-1207	1,35*	1,38*	1,28*	1,34*
CDC Alamo	1,36*	1,75*	1,35*	1,49*
CDC Hilose	1,04	0,20	1,17	0,80
Гордій	0,97	1,15*	0,71	0,94
Mebere	0,72	0,25	0,86	0,61
UA 0802220	1,21*	1,32*	0,98	1,17*
UA 0800663	1,19	1,31*	1,31*	1,27*
UA 0805462	0,63	1,19*	1,10	0,97
UA 0800645	0,94	0,85	0,98	0,92
SGI 7024	0,73	0,40	1,68*	0,94
Ноем	1,10	0,49	1,15	0,91
Середнє за зразками	1,02	0,94	1,14	1,03

Примітка. * – істотне перевищення над середнім по вибірці.

Таким чином, ми установили, що ранжування зразків за рівнем фенольних сполук може змінюватися внаслідок включення в дослідження нових зразків, тобто вміст фенольних сполук залежить від індивідуальної реакції генотипу на конкретні погодні умови.

За істотністю відмінностей зразків конкретної вибірки за вмістом фенольних сполук при попарному порівнянні було встановлено, що лише сорт Mebere^b має значно нижчий вміст фенолів, ніж зразки UA 0802220^{ac}, UA 0800663^{ac}, Віолет 18-1207^{ac}, CDC Alamo^c (табл. 5.6). За роками істотні відмінності відсутні.

Таблиця 5.6 – Розподіл зразків голозерного ячменю за вмістом фенольних сполук за результатами апостеріорного порівняння за однорідними групами по LSD test

Зразок	Вміст фенольних сполук, мг/г за еквівалентом галової кислоти	Групи за вмістом фенольних сполук		
		a	b	c
Mebere	0,610000		****	
CDC Hilose	0,803333	****	****	
Ноем	0,913333	****	****	
UA 0800645	0,923333	****	****	
SGI 7024	0,936667	****	****	****
Гордій	0,943333	****	****	****
UA 0805462	0,973333	****	****	****
UA 0802220	1,170000	****		****
UA 0800663	1,270000	****		****
Віолет 18-1207	1,336667	****		****
CDC Alamo	1,486667			****

Доречно відзначити, що створена нами цінна лінія Віолет 18-1207 (UA 0805977) різновиду *nudidubium* має не лише зерно фіолетового кольору, але і всі інші частини рослини мають яскраво фіолетове забарвлення у фазі колосіння–налив. У міру дозрівання рослина набуває сіро бузкового кольору [256, 258, 259, 278]. Взаємозв'язок темного забарвлення зернівки, зокрема фіолетового, як у Віолет 18-1207, та високого вмісту антоціанів встановлено

Yao X. et al. [119], а Panizo M. et al. – темного забарвлення та високого вмісту фенолів [279]. Наші дані частково узгоджуються з висновками цих дослідників, так як лінія Віолет 18-120 має високий вміст не лише фенолів, а й найвищий у вибірці вміст антоціанідинів (0,17 умов. од. D530/г), але чорнозерний зразок UA 0800645 – навпаки, має низький вміст антоціанідинів (0,10 умов. од. D530/г) (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Вміст антоціанідинів у зерні зразків голозерного ячменю в залежності від генотипу та року вирощування

Зразок	Вміст антоціанідинів за роками, умов. од. D530/г			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	середнє
Віолет 18-1207	0,22	0,16	0,12	0,17
CDC Alamo	0,23	0,02	0,07	0,11
CDC Hilose	0,18	0,02	0,07	0,09
Гордій	0,19	0,02	0,05	0,09
Mebere	0,11	0,02	0,07	0,07
UA 0802220	0,20	0,04	0,12	0,12
UA 0800663	0,24	0,07	0,12	0,14
UA 0805462	0,17	0,03	0,10	0,10
UA 0800645	0,14	0,07	0,09	0,10
SGI 7024	0,25	0,03	0,09	0,12
Середнє за зразками	0,19	0,05	0,09	0,11

Примітка. Жирним шрифтом виділено найвищі значення.

За роками та генотипом істотні відмінності за середнім по вибірці вмістом антоціанідинів відсутні. Лише в окремі роки встановлено істотне перевищення над середнім за роком значенням: у 2023 р. – SGI 7024 (0,25 умов. од. D530/г), UA 0800663 (0,4 умов. од. D530/г), CDC Alamo (0,23 умов. од. D530/г), Віолет 18-1207 (0,22 умов. од. D530/г); у 2024 р. – Віолет 18-1207 (0,16 умов. од. D530/г); у 2025 р. – Віолет 18-1207 (0,12 умов. од. D530/г), UA 0802220 (0,12 умов. од. D530/г), UA 0800663 (0,12 умов. од. D530/г) (див. табл. 5.7). У підсумку відмічено лінійний зв'язок між вмістом фенольних сполук та антоціанідинів ($r = 0,59$), що узгоджується з даними Hodzic Z. [108], Ianucci A. [275].

У результаті аналізу встановлено, що стабільно високі показники вмісту фенольних сполук та антоціанідинів були у зразків Віолет 18-1207,

CDC Alamo, UA 0800663. Сильна реакція на умови середовища за вмістом фенольних сполук була високою у зразків Гордій (0,71–1,15 мг/г), UA 0805462 (0,63–1,19 мг/г), SGI 7024 (0,40–1,68 мг/г); за вмістом антоціанідинів – у зразків UA 0802220 (0,04–0,20 умов. од. D530/г), UA 0805462 (0,03–0,17 умов. од. D530/г), Гордій (0,02–0,19 умов. од. D530/г), SGI 7024 (0,03–0,25 умов. од. D530/г) (див. табл. 5.5, 5.7).

Наші дані щодо залежності вмісту фенольних сполук від генотипу та умов середовища узгоджуються з результатами дослідження сортів ячменю в Онтаріо Abdel-Aal E.S.M., et al. [10, 11], El-Sayed M., et al. [148], в Литві Legzdina L. et al. [154]. Іншими вченими теж було проведено дослідження та одержано такі ж висновки – середовище, генотип та їх взаємодія мають значний вплив на рівень фенолів, що підкреслює необхідність тестування генотипів в різних умовах для виділення зразків з високим вмістом фенолів [156, 157]. Аналогічні результати одержано Rao S. et al. [280] про значний вплив середовища на АОА та вміст фенолів, зокрема флавоноїдів та протоантоціанідинів, а різна реакція сортів на місце вирощування вказує на вплив генотипу.

5.3 Вміст та жирнокислотний склад олії ячменю

Важливою складовою харчової цінності зерна ячменю є вміст олії та її жирнокислотний склад. У зерні ячменю вміст олії дуже низький (біля 3 %), тому ця ознака характеризується дуже низькою мінливістю і селекція за нею не є популярною серед науковців. Цікавість викликає не вміст, а склад олії, так як ячмінна олія дуже багата на поліненасичені ω -3 ліноленову та ω -6 лінолеву кислоти, які є потужними антиоксидантами.

У наших попередніх дослідженнях було встановлено дуже високий (4,70 %, CDC Hilose з високоамілозним крохмалем) та високий (3,82–3,71 %, UA 0805462 var. *daghestanicum*, CDC Lophy-1 та Mebere var. *nudum*) вміст олії. За вмістом в олії ω -3 ліноленової кислоти було виділено сорти Гатунок (6,23 %), CDC Alamo, CDC Candle (5,12–6,05 % від загального вмісту олії), високий вміст лінолевої кислоти був у сортів Гатунок (55,01 %), CDC Candle (54,80 %); олеїнової – CDC Alamo (18,55 %), Ахіллес (18,44 %), Richard (18,38 %), CDC Candle (16,77 %) [54, 55, 175, 176].

Таблиця 5.8 – Жирнокислотний склад олії зразків ярого голозерного ячменю, середнє з двох повторень, 2025 р.

Зразок	Мірис- тинова	Міристо- олеїнова	Пальмі- тинова	Пальміт- олеїнова	Стеари- нова	Олеїнова	Лінолева	Ліноле- нова	Ейкозе- нова	Бегенова
	C14:0	C14:1	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:1	C22:0
SGI 7024 блакитне зерно	0,12	—	20,53	0,26	1,17	20,45*	52,82*	4,50	0,09	0,12
CDC Alamo waxy, <i>nudum</i>	0,17*	0,08	23,17*	0,56*	1,56*	20,43*	49,79	4,03	0,10	0,12
Віолет 18-1207 <i>nudidubium</i>	0,16*	0,08	22,45	0,45	1,32*	18,95*	52,16	4,24	0,11	0,10
UA 0800645 <i>nudimelanocri- thum</i>	0,10	0,08	23,56*	0,64*	1,19	15,52	53,32*	5,39*	0,11	0,12
UA 0800663 <i>viride</i>	0,10	0,08	23,62*	0,62*	1,35*	17,49	51,75	4,81	0,09	0,11
UA 0805462 <i>daghestanicum</i>	0,11	0,08	22,43	0,60*	1,38*	19,00*	51,77	4,43	0,09	0,11
Середнє значення по всій вибірці	0,12	0,07	22,85	0,49	1,27	18,08	52,14	4,78	0,10	0,11

У 2025 році було проведено аналіз вмісту жирних кислот в олії голозерних зразків ячменю. Виділено зразки, у яких вміст жирних кислот істотно перевищує середнє значення по вибірці (табл. 5.8, дод. Ж). Зокрема, за вмістом насичених кислот: міристинової – Віолет 18-1207^b, CDC Alamo^b (0,155–0,165 %), пальмітинової – CDC Alamo^f, UA 0800645^c, UA 0800663^c (23,17–24,28 %), стеаринова – Віолет 18-1207^{cd}, UA 0800663^{df}, UA 0805462^{df}, CDC Alamo^g (1,32–1,56 %). За вмістом мононенасичених кислот: пальмітолеїнової – CDC Alamo^{ae}, UA 0805462^a, UA 0800663^a, UA 0800645^a (0,55–0,64 %), олеїнової – Віолет 18-1207^b, UA 0805462^b, SGI 7024^c, CDC Alamo^c (18,41–20,43 %). За вмістом поліненасичених кислот, особливо цінних для людського організму – ω -6 лінолевої – SGI 7024^f, UA 0800645^g (52,50–54,410 %), ω -3 ліноленової – UA 0800645^f (5,39 %). Таким чином, за високим вмістом ненасичених жирних кислот в олії виділено зразки CDC Alamo, UA 0805462, SGI 7024, UA 0800645. Ці зразки є цінним вихідним матеріалом для селекції сортів голозерного ячменю, придатних для виготовлення продукції дієтичного харчування з профілактичною дією.

5.4 Характеристика створених ліній голозерного ячменю з кольоровим зерном, визначення джерел цінних ознак для селекції харчового ячменю

Під час досліджень 2023–2025 рр. було проведено декілька серій схрещувань та одержано гібридні рослини F₁–F₃ поколінь. Рослини F₁ було аналізовано за продуктивністю та її структурою, за фенотипом всі рослини були однаковими. В цьому поколінні визначено тип успадкування, наявність та ступінь гетерозису за окремими ознаками (див. табл. 4.1, 4.2, 4.4). В поколінні F₂ відбувалося розщеплення гібридної популяції за всіма ознаками, в тому числі за забарвленням зерна. Рослини F₂ розділяли на групи за кольором зерна, визначали розщеплення за критерієм Пірсона χ^2 та тип взаємодії генів при розщепленні (див. табл. 4.6). У поколінні F₃ кожену групу попереднього покоління, виділену за кольором зерна, висівали окремо та в F₃ знову розділяли за забарвленням зерна в кожній групі окремо (див. табл. 4.7).

Таким чином ми одержали новий гібридний матеріал для впровадження в селекційний процес голозерного ячменю харчового напрямку використання. Було встановлено вміст корисних нутрієнтів в зерні нових зразків (див. додаток Е).

Зокрема, в результаті рекомбінації генів при схрещуванні зразків Ноем / SGI 7024 (шестирядний з фіолетовим зерном, *v. violaceum* та дворядний з блакитним зерном, різновид не визначений) було одержано новоутворення, які належать до невідомих, досі не описаних різновидів: шестирядні з блакитним та оранжевим зерном.

Лінія SBСР-119 – шестирядна з блакитним зерном (рис. 5.1). Створена в результаті схрещування Ноем / SGI 7024. Різновид невідомий. Висота рослин 77 см, довжина колоса 7,1 см, кількість зернівок у колосі 66 штук, щільність 13 зерен на 4 см. Дрібнозерний, маса 1000 зерен 3,6 г. Продуктивність головного колоса 2,8 г. Вміст білка в зерні 14,36 %, крохмалю 60,48 %; фенольних сполук 0,73 мг-екв. галової кислоти/г, антоціанідинів 0,062 D530/г. Склоподібність ендосперму 92 %. Джерело високого вмісту поліненасичених жирних кислот лінолевої (52,505 %) та ліноленової (5,65 %) (див. дод. Е, Ж). Подано запит № 005508 на реєстрацію лінії в НЦГРРУ (дата реєстрації 08.12.2025 р.) з метою збагачення генетичного різноманіття голозерного ячменю (додаток І).

У результаті схрещування зразка UA 0800645 (еректоїд з чорним зерном, *v. nudimelanocrithum*) та сорту Явір (жовте зерно, *v. nudum*) було одержано лінію СР 24-347, еректоїд з жовтим зерном (*v. neogenes*) (рис. 5.2). Висота рослин 68 см. Колос короткий, довжина 6,0 см, кількість зернівок у колосі 26 штук, щільність висока – 18 зерен на 4 см. Доволі крупне, як для гоозерного, зерно – маса 100 зерен 43,5 г. Продуктивність головного колоса 1,6 г. Рослини дуже стійкі до вилягання. Вміст білка високий – 16,72 %, крохмалю низький, 56,93 %. Вміст фенольних сполук високий, 1,38 мг-екв. галової кислоти/г, антоціанідинів 0,098 D530/г.



Рисунок 5.1 Колосся та зерно
блакитнозерної шестирядної лінії
SBSP-119



Рисунок 5.2 Щільне колосся
зразків різновиду *neogenes*,
жовтозерного еректоїда 24-347

Лінія SP-152C – шестирядна з оранжевим зерном (рис. 5.4). Створена в результаті схрещування Ноем (рис. 5.3) / CDC Alamo. Різновид невідомий. Висота рослин 76 см, довжина колоса 9,0 см. Кількість зернівок у колосі 74 штуки, щільність 12 зерен на 4 см. Дрібнозерний, маса 1000 зерен 37,9 г. Продуктивність головного колоса 1,4 г. Вміст білка в зерні 14,15 %, крохмалю 59,48 %; фенольних сполук 0,90 мг-екв. галової кислоти/г, антоціанідинів 0,052 D530/г. Склоподібність ендосперму 92 %. Подано запит № 005509 на реєстрацію лінії в НЦГРРУ (дата реєстрації 08.12.2025 р.) з метою збагачення генетичного різноманіття голозерного ячменю (додаток И).



Рисунок 5.3 Фіолетове зерно шестирядного зразка Ноем



Рисунок 5.4 Оранжеве зерно (зверху) шестирядного зразка CP-152C; внизу – зелене зерно GG 24-127

Під час розщеплення гібридних популяцій F_2 та F_3 було виділено рослини проміжного типу (інтермедіум) при схрещуванні шестирядного зразка Ноем з дворядним SGI 7024 – з фіолетовим та блакитним зерном (рис. 5.5), CDC Alamo – з фіолетовим та жовтим зерном. Рослини з блакитним зерном високі (73–80 см), колос довгий (9–10 см), добре озернений (25–28 штук), нещільний (12 зернівок на 4 см). Продуктивність біля 1,2 г. Вміст білка високий – понад 14 %, крохмалю понад 60 %. Подібні лінії буде досліджено за розщепленням та здатністю до новоутворень з метою створення нового вихідного матеріалу для селекційного процесу.

Також було виділено новоутворення в гібридних популяціях F_2 та F_3 від схрещування зразків UA 0800663 v. *viride* (зелене зерно, жовта рослина) та Віолет 18-1207 v. *nudidubium* (усі частини рослини фіолетового кольору) – жовта рослина з зеленим зерном та фіолетовими остюками; від схрещування UA 0800645 / CDC Alamo – чорнозерний еректоїд із сірим колосом та звичайні рослини із сірим колосом (рис. 5.6).

Лінія CP 339-25 – дворядна чорнозерна з сірим колосом, висота рослин 70 см, довжина колоса 9,0 см, кількість зернівок у колосі 26–27 штук, щільність 13 зерен на 4 см. Крупнозерний, маса 1000 зерен 53,9 г. Продуктивність головного колоса доволі висока – 2,0 г. Є цінною для розширення генетичного різноманіття ячменю.



Рисунок 5.5 Колосся
блакитнозерного зразка типу
інтермедіум



Рисунок 5.6 Колосся гібридних
рослин різного забарвлення – жовтий
колос жовте зерно, сірий колос чорне
зерно, чорний колос чорне зерно лінії
NNG 24-349

Лінія NNG 24-349 v. *nigrinudum* (рис. 5.6) отримана в результаті схрещування UA 0800645 / CDC Alamo. Висота рослин 71 см, довжина колоса 8,7 см, кількість зернівок у колосі 22–23 штуки, щільність 11 зерен на 4 см. Продуктивність головного колоса 1,8 г. Вміст білка в зерні дуже високий – 18,76 %, крохмалю невисокий – 59,12 %; фенольних сполук 0,95 мг-екв. галової кислоти/г, антоціанідинів 0,088 D530/г. Склоподібність ендосперму 93 %. Джерело високого вмісту поліненасичених жирних кислот лінолевої (54,41 %) та ліноленової (5,50 %) (див. дод. Е, Ж). Подано запит № 005507 на реєстрацію лінії в НЦГРРУ (дата реєстрації 08.12.2025 р.) з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю як джерела дуже високого вмісту білка, поліненасичених жирних кислот та високої посухостійкості (додаток И).

Лінія GG 24-127 v. *viride* отримана від схрещування зразків UA 0800663 / CDC Alamo. Рослина жовта, зерно зелене, при дозріванні набуває оливкового забарвлення (рис. 5.8). Висота рослин 76 см, колос довгий – 10,3 см, добре озернений (27 зернівок), нещільний (10,6 зерен на 4 см). Крупнозерний, маса 1000 зерен 51,9 г. Продуктивність головного колоса 1,8 г. Вміст білка в зерні дуже високий – 19,49 %, крохмалю невисокий – 59,53 %, крохмаль типу ваху. Вміст фенольних сполук високий – 1,40 мг-екв. галової кислоти/г, антоціанідинів теж високий – 0,116 D530/г. Склоподібність ендосперму 93 %. Високий вміст насиченої стеаринової жирної кислоти (1,49 %) та мононенасиченої олеїнової (18,41 %) (див. дод. Е, Ж). Подано запит № 005506 на реєстрацію лінії в НЦГРРУ (дата реєстрації 08.12.2025 р.) з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю як джерела дуже високого вмісту білка, фенольних сполук та антоціанідинів (додаток И).



Рисунок 5.7 Колос та блакитне зерно зразка SGI 7024



Рисунок 5.8 Зелене зерно лінії GG 127-24

Висновки до розділу 5

1. Проведено аналіз вмісту поживних речовин та антиоксидантів у зерні голозерних зразків ячменю з різним забарвленням зерна. Встановлено, що

вміст білка та крохмалю залежить від генотипу та умов середовища. Найменшою кількістю білка була в сприятливому 2025 р.

2. Виділено джерела високого вмісту білка (понад 16 %) – Віолет 18-1207, CDC Alamo, UA 0800645, UA 0800663, UA 0802220 (18,29–17,98 %). За виключенням CDC Alamo всі зразки мають кольорове зерно – фіолетове, чорне, зелене.

3. За вмістом крохалю в дослідженій вибірці відмінності були неістотними, найвищим вміст був у зразків UA 0800645, SGI 7024 (59,77–58,54 %).

4. Підтверджено негативну залежність між вмістом крохмалю та білка, коефіцієнт кореляції істотний та складає -0,41.

5. Вміст речовин антиоксидантів – фенольних сполук та антоціанідинів залежить від середовища, генотипу та їх взаємодії, що підкреслює необхідність тестування генотипів в різних умовах для виділення зразків з високим вмістом фенолів. У ячменю вміст цих речовин невисокий у порівнянні з пшеницею, а в дослідженій вибірці найвищим вміст фенольних сполук був у зразків UA 0800663, UA 0802220 (1,27–1,17 мг/г за еквівалентом галової кислоти). Обидва зразки мають зелене зерно.

6. Підтверджено зв'язок фіолетового забарвлення зерна та вмісту антоціанідинів. Найвищим вміст антоціанідинів був у лінії Віолет 18-1207 (0,17 умов. од. D530/г), у якій всі частини рослини мають фіолетове забарвлення. Окрім цієї лінії, порівняно високим вміст антоціанідинів був у зразків UA 0800663, UA 0802220 (зелене зерно) та SGI 7024 (блакитне зерно).

7. У результаті аналізу вмісту жирних кислот в олії виділено зразки з високим вмістом мононенасичених кислот: пальмітолеїнової – CDC Alamo, UA 0805462, UA 0800663, UA 0800645 (0,55–0,64 %), олеїнової – Віолет 18-1207, UA 0805462, SGI 7024, CDC Alamo (18,41–20,43 %). За вмістом поліненасичених кислот, особливо цінних для людського організму – ω -6 лінолевої – SGI 7024, UA 0800645 (52,50–54,410 %), ω -3 ліноленової – UA 0800645 (5,39 %). Таким чином, за високим вмістом ненасичених жирних

кислот в олії зразки CDC Alamo, UA 0805462, SGI 7024, UA 0800645 є цінним вихідним матеріалом для селекції сортів голозерного ячменю, придатних для виготовлення продукції дієтичного харчування з профілактичною дією.

8. Одержано новий гібридний матеріал для впровадження в селекційний процес голозерного ячменю харчового напрямку використання. Зокрема, в результаті рекомбінації генів при схрещуванні зразків Ноем / SGI 7024 (шестирядний з фіолетовим зерном, *v. violaceum* та дворядний з блакитним зерном, різновид не визначений) було одержано новоутворення, які належать до невідомих, досі не описаних різновидів: шестирядні з блакитним та оранжевим зерном.

9. Лінії невідомих різновидів SBСР-119 – шестирядна з блакитним зерном та СР-152 С– шестирядна з оранжевим зерном передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою розширення генетичного різноманіття ярого голозерного ячменю.

9. Лінію NNG 24-349 *v. nigrinudum* передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю з кольоровим зерном харчового напрямку використання як джерело дуже високого вмісту білка (18,76 %), фенольних сполук (0,95 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,088 D530/г), поліненасичених жирних кислот лінолевої (54,41 %) і ліноленової (5,50 %) та високої посухостійкості.

10. Лінію GG 24-127 *v. viride* передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю з кольоровим зерном харчового напрямку використання як джерело дуже високого вмісту білка (19,49 %), крохмалю типу waxy, високого вмісту фенольних сполук (1,40 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,116 D530/г) та мононенасиченої олеїнової жирної кислоти (18,41 %).

ВИСНОВКИ

У дисертації наведено обговорення та шляхи вирішення важливої наукової проблеми особливостей створення вихідного матеріалу для селекції голозерного ячменю харчового напрямку використання, в тому числі з кольоровим зерном, зокрема аналіз мінливості селекційного матеріалу за реакцією на зміну умов середовища, визначення селекційної цінності вихідного матеріалу та прогнозування перспективних гібридних комбінацій, установлення поживних якостей та виділення джерел з комплексом цінних господарських ознак, впровадження перспективних ліній голозерного кольорового ячменю у селекційні програми, створення нових зразків з метою розширення генетичного різноманіття голозерного ячменю, що має стратегічне, економічно обґрунтоване значення в галузі селекції та виробництва голозерного кольорового ячменю як нішевої культури.

1. У результаті дослідження було встановлено, що реалізація кількісних ознак рослин голозерного ячменю залежить від генотипу та погодних умов вирощування. Потенціал рослин найбільш повно реалізується в сприятливих умовах 2025 року, а в умовах жорсткої посухи 2024 року є можливість відібрати посухостійкі та жаростійкі генотипи. При цьому за довжиною колоса, кількістю зерен у колосі, щільністю колоса та масою 1000 зерен не виявлено істотних відмінностей в залежності від умов року вирощування. В залежності від генотипу істотні відмінності були у всіх варіантах дослідження.

2. Виділено джерела цінних селекційних ознак, зокрема: джерела довгоколосості – зразки CDC Alamo (11,4 см), UA 0805462 (9,9 см); великої кількості зерен у колосі – CDC Alamo (31 зерно), UA 0805462 та Віолет 18-1207 (28 зерен); продуктивності головного колоса – Віолет 18-1207 (1,59 г) та CDC Hilose (1,54 г). Виділення джерел цінних ознак є важливим для впровадження у селекційний процес з метою підвищення врожайності

голозерного ячменю та задоволення потреб у продовольстві, особливо в умовах зміни клімату.

3. Рівень варіювання кількісних ознак у зразків голозерного ячменю є різним у залежності від умов вирощування та генотипу. Найменше варіюють маса 1000 зерен ($CV = 0,4\text{--}4,5 \%$), щільність колоса ($CV = 0\text{--}10 \%$), кількість зерен у колосі ($CV = 4\text{--}10 \%$), довжина колоса ($CV = 4\text{--}8 \%$). Саме ці ознаки є маркерними при доборах за будь-яких погодних умов у зоні проведення дослідження. Найбільш варіабельною є вага зерна з головного колоса ($CV = 26\text{--}47 \%$).

4. Кореляція кількісних ознак залежить від умов року вирощування, між продуктивністю головного колоса та кількістю зерен у колосі встановлено тісну сильну кореляцію за всі роки дослідження ($r = 0,74\text{--}0,87$). Продуктивність головного колоса також істотно залежала від довжини колоса ($r = 0,81$). Це пояснюється стабільною істотною кореляцією між довжиною колоса та кількістю зерен у ньому ($r = 0,88\text{--}0,93$).

5. Враховуючи результати дисперсійного аналізу, boxplot аналізу, варіаційного та кореляційного аналізів, встановлено, що маркерними ознаками для добору перспективних зразків для селекції на продуктивність є довжина колоса та кількість зерен у колосі. Це дає змогу провести бракування ще до збору врожаю, що полегшує та прискорює селекційний процес. Однак дані висновки є коректними для даної вибірки голозерного ячменю та конкретних умов вирощування. У дослідженнях з іншим вихідним матеріалом та в іншому середовищі можливим є одержання інших результатів унаслідок компенсаторного ефекту рослин різних сортів ячменю.

6. Успадкування кількісних ознак у F_1 голозерного ячменю відбувається за різними типами взаємодії генів – гетерозис (наддомінування), позитивне та негативне домінування, проміжне успадкування, негативне наддомінування (депресія). Тип успадкування залежить від умов середовища та генотипу батьківських компонентів.

7. Частота та ступінь прояву гетерозису залежить від батьківських компонентів та умов середовища. Так, у залежності від умов року гетерозис найчастіше проявлявся в 2023 р., а у 2024 і 2025 рр. гетерозис за часткою прояву не мав істотних відмінностей. В усі роки високою була частка проміжного успадкування, а в 2024 р. – негативного наддомінування (депресії). Ступінь гетерозису за всіма кількісними ознаками найбільш низьким був у 2024 році (6,7–21,5 %), що пояснюється дуже несприятливими погодними умовами та низькою реалізацією потенціалу рослин ячменю. У сприятливих умовах 2025 року ступінь гетерозису був найвищим – 24,0–74,7 %.

8. У залежності від ознаки найвищого ступеню гетерозис досягав за вагою зерна з головного колоса – до 74,7 %. Виділено материнські та батьківські компоненти з найвищими ступенями гетерозису за висотою рослин, довжиною колоса, кількістю зернівок та вагою зерна з колоса. Також виділено перспективні гібридні комбінації, в яких переважає кількість гетерозисних ознак, у таких комбінаціях підвищується можливість виділення в наступних поколіннях трансгресивних сегрегантів.

9. Установлено, що визначальними для рівня продуктивності колоса є ознаки довжина колоса і кількість зернівок у колосі. За низькою варіабельністю, високим ступенем гетерозису згаданих ознак та враховуючи загальну кількість гетерозисних ознак у комбінаціях схрещування і найвищий ступінь гетерозису за вагою зерна з колоса, було встановлено, що перспективними комбінаціями схрещування для одержання високопродуктивних гібридних рослин є Віолет 18-1207 / CDC Hilose, Hoem / SGI 7024, UA 0805462 / SGI 7024, Mebere / Явір, UA 0800663 / SGI 7024. Найкращими материнськими компонентами для селекції голозерного ячменю з кольоровим зерном на високу продуктивність є Віолет 18-1207, Mebere, UA 0805462, батьківськими – SGI 7024, UA 0800663, Явір, Віолет 18-1207.

10. Щодо забарвлення зернівок у гібридних поколіннях голозерного ячменю було рослин встановлено, що в F_1 над жовтим забарвленням домінує

кольорове. При цьому за участі в схрещуванні фіолетовозерної лінії Віолет 18-1207 як за материнський, так і за батьківський компонент забарвлення зерна рослин F_1 завжди було фіолетове. У F_2 відбувається розщеплення за кольором зерна переважно за типом комплементарності, при цьому домінує колір зернівок такий же, який був у рослин F_1 . Установлено, що у F_3 розщеплення продовжується, рослини за кольором зернівок поділяються на різні за кількістю групи. При цьому перевагу за кількістю рослин має група із забарвленням зернівок таким, як було в F_2 .

11. Особливої уваги заслуговують гібридні популяції F_3 , утворені в результаті схрещування з батьківськими компонентами Ноем (шестирядний, фіолетова зернівка) та UA 0800645 (чорнозерний еректоїд). У цих популяціях розщеплення відбувається як за кольором зернівок, так і за рядністю колоса та типом рослини (еректоїди та звичайні).

12. У результаті рекомбінації генів отримано нові варіанти поєднання цінних ознак, виділено новоутворення з ознаками, нехарактерними для батьківських компонентів, тобто комплементарна взаємодія генів супроводжувалася утворенням генотипів, які не були схожими ні на жоден з батьківських компонентів. Створено рослини, які не відносяться до жодного із описаних сучасних різновидів голозерного ячменю – шестирядні з блакитним та оранжевим зерном, чорнозерні еректоїди із сірим колосом та світлими остюками і соломиною, жовті дворядні рослини з фіолетовими остюками. Це розширює генетичне різноманіття голозерного ярого ячменю.

13. У результаті аналізу вмісту поживних речовин та антиоксидантів у зерні голозерних зразків ячменю з різним забарвленням зерна було встановлено, що вміст білка та крохмалю залежить від генотипу та умов середовища. Найменшою кількістю білка була в сприятливому 2025 р. Виділено джерела високого вмісту білка (понад 16 %) – Віолет 18-1207, CDC Alamo, UA 0800645, UA 0800663, UA 0802220 (18,29–17,98 %). За виключенням CDC Alamo всі зразки мають кольорове зерно – фіолетове, чорне, зелене.

14. За вмістом крохалю в дослідженій вибірці відмінності були неістотними, найвищим вміст був у зразків UA 0800645, SGI 7024 (59,77–58,54 %). Також підтверджено негативну залежність між вмістом крохмалю та білка, коефіцієнт кореляції істотний та складає -0,41.

15. Установлено, що вміст речовин антиоксидантів – фенольних сполук та антоціанідинів залежить від умов середовища, генотипу та їх взаємодії, що підкреслює необхідність тестування генотипів в різних умовах для виділення зразків з високим вмістом фенолів. У дослідженій вибірці найвищим вміст фенольних сполук був у зразків UA 0800663, UA 0802220 (1,27–1,17 мг/г за еквівалентом галової кислоти). Обидва зразки мають зелене зерно.

16. Підтверджено зв'язок фіолетового забарвлення зерна та вмісту антоціанідинів. Найвищим вміст антоціанідинів був у лінії Віолет 18-1207 (0,17 умов. од. D530/г), у якій всі частини рослини мають фіолетове забарвлення. Окрім цієї лінії, порівняно високим вміст антоціанідинів був у зразків UA 0800663, UA 0802220 (зелене зерно) та SGI 7024 (блакитне зерно).

17. У результаті аналізу вмісту жирних кислот в олії виділено зразки з високим вмістом мононенасичених кислот: пальмітолеїнової – CDC Alamo, UA 0805462, UA 0800663, UA 0800645 (0,55–0,64 %), олеїнової – Віолет 18-1207, UA 0805462, SGI 7024, CDC Alamo (18,41–20,43 %). За вмістом поліненасичених кислот, особливо цінних для людського організму – ω -6 лінолевої – SGI 7024, UA 0800645 (52,50–54,410 %), ω -3 ліноленової – UA 0800645 (5,39 %). Таким чином, за високим вмістом ненасичених жирних кислот в олії зразки CDC Alamo, UA 0805462, SGI 7024, UA 0800645 є цінним вихідним матеріалом для селекції сортів голозерного ячменю, придатних для виготовлення продукції дієтичного харчування з профілактичною дією.

18. Виділено лінії невідомих різновидів SBCP-119 – шестирядна з блакитним зерном та CP-152C – шестирядна з оранжевим зерном та передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою розширення генетичного різноманіття ярого голозерного ячменю. Лінію NNG 24-349 v. *nigrinudum* передано на

реєстрацію до НЦГРРУ з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю з кольоровим зерном харчового напрямку використання як джерело дуже високого вмісту білка (18,76 %), фенольних сполук (0,95 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,088 D530/г), поліненасичених жирних кислот лінолевої (54,41 %) і ліноленової (5,50 %) та високої посухостійкості. Лінію GG 24-127 v. *viride* передано на реєстрацію до НЦГРРУ з метою впровадження в селекційний процес голозерного ячменю з кольоровим зерном харчового напрямку використання як джерело дуже високого вмісту білка (19,49 %), крохмалю типу ваху, високого вмісту фенольних сполук (1,40 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,116 D530/г) та мононенасиченої олеїнової жирної кислоти (18,41 %).

19. Таким чином, у результаті дисертаційних досліджень встановлено особливості селекційного процесу голозерного кольорового ячменю для створення вихідного матеріалу, перспективних ліній та сортів ярого ячменю харчового напрямку використання, придатних для виробництва продукції функціонального харчування, в тому числі профілактичного та дитячого. Створення таких сортів та впровадження їх у виробництво як нішевої культури дасть можливість розвитку малого та середнього агропромислового та переробного бізнесу в сільських громадах, чим забезпечить додатковий прибуток та зростання благополуччя громадян. Актуальність подібних досліджень у розвинутих країнах світу дає перспективу експортної орієнтації продукції голозерного кольорового ячменю.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Упроваджувати в селекційний процес з метою підвищення продуктивності голозерного ячменю джерела цінних селекційних ознак: довгокошості – CDC Alamo (11,4 см), UA 0805462 (9,9 см); великої кількості зернівок у колосі – CDC Alamo (31 зерно), UA 0805462 та Віолет 18-1207 (28 зернівок); продуктивності головного колоса – Віолет 18-1207 (1,59 г) та CDC Nilose (1,54 г).

2. З метою підвищення ефективності доборів у гібридних популяціях та прискорення селекційного процесу доцільно керуватися маркерними ознаками – довжиною колоса та кількістю зернівок у колосі.

3. Для підвищення поживної якості голозерного ячменю слід впроваджувати в селекційний процес джерела високого вмісту фенольних сполук – UA 0800663, UA 0802220 (1,27–1,17 мг/г за екв. галової кислоти); антоціанідинів – Віолет 18-1207 (0,17 умов. од. D530/г), UA 0800663, UA 0802220, SGI 7024; поліненасичених кислот – ω -6 лінолевої – SGI 7024, UA 0800645 (52,50–54,410 %), ω -3 ліноленової – UA 0800645 (5,39 %).

4. Упроваджувати в селекційний процес лінії невідомих різновидів SBSP-119 – шестирядна з блакитним зерном та CP-152C – шестирядна з оранжевим зерном з метою розширення генетичного різноманіття ярого голозерного ячменю; лінію NNG 24-349 v. *nigrinudum* – як джерело дуже високого вмісту білка (18,76 %), фенольних сполук (0,95 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,088 D530/г), поліненасичених жирних кислот лінолевої (54,41 %) і ліноленової (5,50 %) та високої посухостійкості; лінію GG 24-127 v. *viride* – як джерело дуже високого вмісту білка (19,49 %), крохмалю типу ваху, високого вмісту фенольних сполук (1,40 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,116 D530/г) та мононенасиченої олеїнової жирної кислоти (18,41 %).

5. Агровиробникам упроваджувати у виробництво голозерний кольоровий ячмінь як нішеву експорторієнтовану культуру з метою розвитку малого та середнього агропромислового і переробного бізнесу в сільських громадах та отримання додаткового прибутку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Концепція поліпшення продовольчого забезпечення та якості харчування населення. Розпорядження КМУ від 26.05.2004 р. № 332-р із змінами за Постановою КМУ № 884 від 23.09.2020 р. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua>.
2. Бабич М. Концептуальні основи державної політики України у сфері формування продовольчої безпеки в умовах Євроінтеграції. Економіка та суспільство. 2022. № 39. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2022-39-76>.
3. Шевченко О.Ю., Сімахіна Г.О., Шевченко А.О. Оздоровче харчування в контексті продовольчої безпеки в Україні. Scientific Works of NUFT. 2020. V. 26. Is. 6. P. 37–43.
4. Proceeding of the 10th International Barley Genetics Symposium, 5–10 April 2008, Alexandria, Egypt. Eds: Ceccarelli S. and Grando S. ICARDA, PO Box 5466, Aleppo, Syria, 2010.
5. Newton A.C., Flavell A.J., George T.S., Leat P., Mullholland B., Ramsay L., Revoredo-Giha C., Russel J., Steffenson B.J., Swanston S., et al. Crops that feed world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weakness in the context of food security. *Food Security*. 2011. V. 3. P. 141–178. <https://doi.org/10.1007/s12571-011-0126-3>.
6. Toyo Shinyaku. Food for specified health use (FOSHU). <http://www.toyoshinyaku.co.jp>
7. Iwatani S., Yamamoto N. Functional food products in Japan. *Food Sciences and Human Wellness*. 2019. V. 8. P. 96. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.011>
8. Martirosyan D., Adany A., Kanya H. Japan's health food industry: An analysis of the efficacy of the FOSHU system. Bioactive compounds in health and disease. 2021. V. 4(4). <https://doi.org/10.31989/bchd.v4i4.795>
9. Ulrich S.E., editor. Barley production, improvement, and uses. Chichester, UK: Wiley-Blackwell, 2011. 637 p.

10. Abdel-Aal E.S.M., Young J.C., Rabalski I. Anthocyanin composition in black, blue, pink, purple, and red cereal grains. *J. Agric Food Chem.* 2006. V. 54. 4696e704.
11. Abdel-Aal E.S.M., Choo T.M., Dhillon S., Rabalski I. Free and bound phenolic acids and total phenolics in black, blue, and yellow barley and their contribution to free radical scavenging capacity. *Cereal Chem.* 2012. V. 89. 198e204. <https://dx.doi.org/10.1094/CCHEM-10-11-0116>
12. Idehen E., Tang Y., Sang S. Bioactive phytochemicals in barley. *Journal of Food and Drug Analysis.* 2016. V. 25(1). <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.08.002>
13. Рибалка О.І., Моргун Б.В., Поліщук С.С. Ячмінь як продукт функціонального харчування. Київ: Логос, 2016. С. 517–574.
14. Lev-Yadun S., Gopher A., Abbos S. The cradle of agriculture. *Science.* 2000. No 288. P. 1602–1603.
15. Dawson I.K., Russel J., Powell W., Steffenson B., Thomas W.T.B., Waugh R. Barley: a translational model for adaptation to climate change. *New Phytol.* 2015. No 206. P. 913–931.
16. Bothmer R. The wild species of *Hordeum*: relationships and potential use for improvement of cultivated barley. In: Barley: Origin, evolution, population genetics and resources for breeding of wild barley, *Hordeum spontaneum*, in the Fertile Crescent. In: Barley: genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology. P.R.Shewry, ed. C.A.B. International, Wallingford, UK, 1992. P. 3–18.
17. Koch C. Beiträge zu einer Flora des Orientes. *Linneaea.* 1848. 21 p.
18. Zohary D., Hopf M., Weiss E. Domestication of plants in the old world: the origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin. 2012. OUP Oxford.
19. Bothmer R., Jacobsen N. Origin, taxonomy, and related species. In: Barley, Agronomy Monograph 26. D.C. Rasmusson, ed. American Society of

Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science of America, Madison, WI, 1985. P. 19–56.

20. Fedak G. Wide crosses in *Hordeum*. In: Barley, Agronomy Monograph 26. D.C. Rasmusson, ed. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science of America, Madison, WI, 1985. P. 155–186.

21. Harlan J.R. On the origin of barley. In: Barley: origin, botany, culture, winter hardiness, genetics, utilization, pests. Agriculture Handbook 338. US Department of Agriculture, Washington, D.C., 1978. P. 10–36.

22. Harlan J.R., Zohary D. Distribution of wild wheat and barley. *Science*. 1966. No 153. P. 1074–1080.

23. Negassa M. Patterns of phenotypic diversity in an Ethiopian barley collection, and the Arussi-Bale Highland as a center of origin of barley. *Hereditas*. 1985. No 102. P. 139–150.

24. Molina-Cano J.L., Moralejo M., Igartua E., Romagosa I. Further evidence supporting Morocco as a center of origin of barley. *Theore. Appl. Genet.* 1999. No 98. P. 913–918.

25. Morrnell P.L., Clegg M.T. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2007. No 104. P. 3289–3294.

26. Badr A.M.K., Sch R., Rabey H.E., Effgen S., Ibrahim H.H., Pozzi C., Rohde W., Salamini F. On the origin and domestication history of barley (*Hordeum vulgare*). *Mol. Biol. Evol.* 2000. No 17. P. 499–510.

27. Dai F., Nevo E., Wu D., Comadran J., Zhou M., Qui L., Chen Z., Beiles A., Chen G., Zhang G. Tibet is one the centres of domestication of cultivated barley. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 2012. No 109. P. 16969–16973.

28. Pourkheirandisch M., Hensel G., Kilian B., Senthil N., Chen G., Sameri M., Azhaguvel P., Sakuma S., Dhanagond S., Sharma R, et al. Evolution of the grain dispersal system in barley. *Cell*. 2015. No 162. P. 527–539.

29. Fang Z., Gonzales A.M., Clegg M.T., Smith K.P., Muehlbauer G.J., Steffenson B.J., Morrrell P.L. Two genomic regions contribute disproportionately

to geographic differentiation in wild barley. *G3 Genes Genomes Genetics*. 2014. No 4. P. 1193–1203.

30. Molina-Cano J., Igartua E., Casas A-M., Moralejo M. New views on origin of cultivated barley. In: Barley Science: Recent advances from molecular biology to agronomy of field and quality. G.A. Slafer, J.L. Molina-Cano, R. Savin, J.L. Araus, I. Romagosa, eds. Haworth Press, Binghamton, N.Y., 2002. P. 15–29.

31. Doebley J.F., Gaut B.S., Smith B.D. The molecular genetics of crop domestication. *Cell*. 2006. No 127. P. 1309–1321.

32. El Rabey H., Salamini R. Domestication history of barley (*H. vulgare*) and phylogenetic relationships in the genus *Hordeum*. In: Barley Genetics VIII., Proc. of the 8th International Barley Genetics Symposium, Adelaide University, South Australia. 2000. Vol. I. P. 32.

33. Velimirović A., Mirosavljević M., Brenjo D., Trkulja V., Ilić P., Jovović Z. Barley in human nutrition and health. In: Food and human nutrition. Ch. 3. P. 121–144. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, 2025.

34. Haas M., Schreiber M., Masher M. Domestication and crop evolution of wheat and barley: Genes, genomics, and future directions. *J. of Integrative Plant Biology*. 2019. Vol. 61(3). DOI: 10.1111/jipb.12737.

35. Хвойко В.В. Раскопки 1901 г. в области трипольской культуры. С.-Петербург: Тип. И.Н. Скороходова, 1904. 27 с.

36. Пашкевич Г.О., Відейко М.Ю. Рільництво племен Трипільської культури. Київ: ІА НАНУ, 2006.

37. Cheng Te Kun. Archaeology China. Prehistoric China. Cambridge, 1959. Vol. 1.

38. Jun Liang Yang, Chi Yen. Distribution of weeded race barley in China and the center of origin of cultivated barley. *Sveriges utsades forming Tidskrift*. 1985. Vol. 95. No 1. P. 71–78.

39. Food barley: importance, uses and local knowledge. S. Grando, H.G. Macpherson, editors. ICARDA, 2005. 156 p.

40. Tonooka T. Breeding of waxy barley cultivars in the National Barley Breeding Program of Japan. *JARQ*. 2023. V. 57(4). P. 251–259.
41. Poelhman J.M. Adaptation and distribution. In: Barley. Agronomy Monograph 26. D.C. Rasmusson, ed. Madison, WI, 1985. P. 1–17.
42. Amason R. Hopes high for black barley. *Crop Management, News*. 2025 May 13.
43. Meints B., Corey A., Evans C., Filichkin T., Fisk S., Helgersson L., Rosa A.S., Hayes P.M. Registration of 'Buck' naked barley. *J. Plant Registrations*. 2018. Vol. 12. P. 1–6. DOI: 10.398/jpr2017.04.0020crc.
44. Meints B., Vallejos C., Hayes P. Multi-use naked barley: A new frontier. *J. of Cereal Science*. 2021. Vol. 2. DOI: 10.1016/j.jcs.2021.103370.
45. Long Z., Jia Y., Tan C., Zhang X., Angessa T., Broughton S., Wescott S., Dai F., Zhang G., Sun D., Xu Y., Li C. Genetic mapping and evolutionary analyses of the black grain trait in barley. *Frontiers in Plant Sciences*. 2019. Vol. 9. DOI: 10.3389/fpls.2018.01.1921.
46. Gamst C.F. Qemant: a Pagan – Hebraic peasantry of Ethiopia. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1969.
47. Asfaw Z. Variation in the morphology of the spike within Ethiopian barley, *Hordeum vulgare* L. (Poaceae). *Acta Agric. Scand.* 1988. No 38. P. 277–288.
48. Ge X., Jing L., Zhaon K., Su C., Zhang B., Zhan, Q., Han L., Yu X., Li W. The phenolic compounds profile, quantitative analysis and antioxidant activity of four naked barley grains with different color. *Food Chem.* 2021. Vol. 15(335). P. 127655. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127655.
49. Bhatta R.S. Physicochemical and functional (bread making). 1986. V. 63. P. 31–35.
50. Magnus E., Fjell K., Steinsholt K. Barley flour in Norwegian wheat bread. In: Cereals in a European Context. Ellis Horwood, Chichester, UK. 1987. P. 377–384.

51. Granda S., Macpherson H. Food barley. Importance, uses and local knowledge. ICARDA. 2008. 205 p.
52. Rybalka O.I., Morgun V.V., Morgun B.V. Colored grain of wheat and barley – a new breeding strategy of crops with grain of high nutritional value. *Plant Physiology and Genetics*. 2020. V. 52. No 2. P. 95–127. <https://doi.org/10.15407/frg2020.02.095>.
53. Michael G., Blume B., Faust H. Die Eiweissqualität von Körnern verschiedenen Lateralidearten in Abhängigkeit von Clickstoffversorgung und Entwicklungszustand. *Z. Pflanzenernähr.* 1961. Bd. 93, H. 2. S. 106–116.
54. Lyu Y., Ma S., Liu J., Wang X. A systematic review of highland barley: Ingredients, health functions and applications. *Grain Oil Sci. Technol.* 2022. V. 5. P. 35–43.
55. Dutta M., Bhattacharyya S., Nandy P., Paul A. A review on products from barley. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 2018. V. 7. P. 1718–1725.
56. Рибалка О.І., Поліщук С.С., Кірдогло Є.К., Моргун Б.В. Генетичні та селекційні критерії створення сортів голозерного ячменю харчового напрямку. *Физиология и биохимия культурных растений*. 2013. Т. 45, № 3. С. 187–205.
57. Jung-cang Qi, Jin-xin Chen, Jun-mei Wang, Fei-bo Wu, Lian-pu Cao, Guo-ping Zhang. Protein and hordein fraction content in barley seeds as affected by sowing date and their relations to malting quality. *J. Zhejiang Univ. Sci. B*. 2005. No 6(11). P. 1069–1075. DOI: 10.1631/jzus.2005.B1069.
58. Molina-Cano J.L., Polo J.P., Romera E., Araus J.L., Zarco J., Swanta J.S. Relationships between barley hordeins and malting quality in a mutant of cv. Triumph. I. Genotype by environment interaction of hordein content. *J. Sereal Sci.* 2001. No 34. P. 285–294.
59. Козаченко М.Р., Важеніна О.Є. Селекційно-генетичні особливості продуктивності та пивоварної якості сортів ячменю ярого. В кн.: Генетичні закономірності селекції ячменю ярого. За ред. М.Р. Козаченка. Харків, 2016. С. 94–153.

60. Солонечний П.М., Козаченко М.Р., Васько Н.І., Наумов О.Г., Дмитренко П.П., Коваленко О.Л. Адаптивні особливості сортів ячменю ярого за урожайністю та вмістом білка в зерні. *Вісник ЦНЗ АПВ Харківської області*. 2014. Вип. 16. С. 225–229.

61. Yang X., Pu X., Guan X. Differences in nutrient functional composition among different types of grains in barley (*Hordeum vulgare* L.) recombinant inbred lines. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2025. Vol. 23(4). DOI: 10.15666/aecr/2304_710371.

62. Newman C., Newman R. Hulless barley for food and feed. In: Specialty grains for food and feed. E. Abdel-Aal, P. Wood, editors. American Association of General Chemists. St. Paul., MN, 2005. P. 167–202.

63. Jung-cang Qi, Jin-xin Chen, Jun-mei Wang, Fei-bo Wu, Lian-pu Cao, Guo-ping Zhang. Protein and hordein fraction content in barley seeds as affected by sowing date and their relations to malting quality. *J. Zhejiang Univ. Sci. B*. 2005. No 6(11). P. 1069–1075. DOI: 10.1631/jzus.2005.B1069.

64. Vasko N.I., Serik M.L., Kozhachenko M.R., Naumov O.G., Vazhenina O.E., Solonechnyi P.M., Solonechna O.V., Sheliakina T.A. Content and biological value of protein in grain of spring barley accessions. *Sel. Nasinn*. 2018. Is. 113. P. 45–55. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.134357>

65. Dang B., Zhang W.G., Zhang J., Yang X.J. Evaluation of nutritional components, phenolic composition, and antioxidant capacity of Highland Barley with different grain colors on the Qinghai Tibet. *Foods*. 2025. Vol. 11(14). DOI: 10.3390/foods11142025.

66. Zhu F. Barley starch: composition, structure, properties, and modifications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2017. № 16(4). P. 558–579. DOI: 10.1111/1541-4337.12265.

67. Asare E.K., Jaiswal S., Maley J., Båga M., Sammynaiken R., Rossnagel B.G., Chibbar R.N. Barley grain constituents, starch composition, and structure affect starch in vitro enzymatic hydrolysis. *J. Agric. Food Chem*. 2011. № 59. P. 4743–4754. DOI: 10.1021/jf200054e.

68. Ping H., Wang J., Ren G. Prediction of the total starch and amylase content in barley using near-infrared reflectance spectroscopy. *Intell. Autom. Soft Co.* 2013. № 19. P. 231–237.
69. Holtekjølén A.K., Uhlen A.K., Brathén E., Sahlstrøm S., Knutten S.H. Contents of starch and non-starch polysaccharides in barley varieties of different origin. *Food Chem.* 2006. № 94. P. 348–358.
70. Swanston J.S., Ellis R.P., Stark J.R. Effects on grain malting quality of genes altering barley starch composition. *J. Cereal. Sci.* 1995. No 22(3). P. 265–273.
71. Gielens D.R.S., Schepper C.F.D., Langenaeken N.A., Galant A., Courtin C.M. A global set of barley varieties shows a high diversity in starch structural properties and related gelatinisation characteristics. *Heliyon.* 2024. Vol. 10. e29662.
72. Gebre B.A., Xu Z., Ma M., Lakew B., Sui Z., Corke H. Starch molecular structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of Ethiopian malt barley varieties. *Int. J. Biol. Macromol.* 2024. Vol. 256. 128407.
73. Liang W., Ding L., Guo K., Liu Y., Wen X., Kirkensgaard J.J.K., Khakimov B., Enemark-Rasmussen K., Hebelstrup K.H., Herburger K., et al. The relationship between starch structure and digestibility by time-course digestion of amylopectin-only and amylose-only barley starches. *Food Hydrocoll.* 2023. Vol. 139. 108491.
74. Kaur A., Singh S., Yuthana P., Sneh P., Bangar P. Unraveling the hidden potential of barley (*Hordeum vulgare*): An important review. *Plants.* 2024. Vol. 13(17). P. 2421. <https://doi.org/10.3390/plants13172421>
75. Поліщук С., Моргун Б., Рибалка О. Поліморфізм генів *Bmy1*, *Lx-1* та *Wx* як детермінантів ознак харчової цінності зерна ячменю. *Збірник наукових праць СГП-НЦНС.* 2014. Вип. 24. С. 28–40.
76. Gao J., Vasanthan T., Hoover R. Isolation and characterization of high-purity starch isolates from regular, waxy, and high-amylose hulless barley grains. *Cereal Chem.* 2009. Vol. 86. P. 157–163.

77. Waduge R.N., Hoover R., Vasanthan T., Gao J., Li J. Effect of annealing on the structure and physicochemical properties of barley starches of varying amylose content. *Food Res. Int.* 2006. Vol. 39. P. 59–77.
78. Morrison W.R., Milligan T.P., Azudin M.N. A relationship between the amylose and lipid contents of starches from diploid cereals. *J. Cereal Sci.* 1984. Vol. 2. P. 257–271.
79. Park J., Chung, H.J., Park H.Y., Park H.J., Oh S.K. Comparative analysis of malt quality and starch characteristics of three South Korean barley cultivars. *Food Sci. Biotechnol.* 2023. Vol. 33. P. 1135–1145.
80. Fan X., Zhu J., Dong W., Sun, Y., Lv C., Guo B., Xu R. Comparison of pasting properties measured from the whole grain flour and extracted starch in barley (*Hordeum vulgare* L.). *PLoS ONE*. 2019. Vol. 14. e0216978.
81. Mehfooz T., Ali T.M., Hasnain A. Effect of cross-linking on characteristics of succinylated and oxidized barley starch. *J. Food Measure Charac.* 2019. Vol. 13. P. 1058–1069.
82. Liu K., Zhang B., Chen L., Li X., Zheng B. Hierarchical structure and physicochemical properties of highland barley starch following heat moisture treatment. *Food Chem.* 2019. Vol. 271. P. 102–108.
83. Kaur H., Gill B.S., Karwasra B.L. In vitro digestibility, pasting, and structural properties of starches from different cereals. *Int. J. Food Prop.* 2018. Vol. 2. P. 70–85.
84. Yangcheng H., Gong L., Zhang Y., Jane J.L. Physicochemical properties of Tibetan hull-less barley starch. *Carbohydr. Polym.* 2016. Vol. 137. P. 525–531.
85. El-Halal S.L.M., Colussi R., Pinto V.Z., Bartz J., Radunz M., Carreño N.L.V., da-Rosa Zavareze E. Structure, morphology and functionality of acetylated and oxidized barley starches. *Food Chem.* 2015. Vol. 168. P. 247–256.
86. Степаненко О.В., Степаненко А.І., Рибалка О.І., Моргун Б.В., Кузьминський Є.В. Виявлення алельних варіантів гена *Wax* серед вітчизняних та зарубіжних сортів ячменю. *Наукові вісті НТУУ КІПІ*. 2014. Т. 3(95). С. 78–83.

87. Vasanthan T., Hoover R. Barley starch: production, properties, modification and uses. In: *Starch: chemistry and technology*. Elsevier Inc., 2009. P. 601–628.
88. Nilan R. The cytology and genetics of barley 1951–1962. Washington State University, Pullman, WA. 1964.
89. Nakao S. On waxy barleys in Japan. *Seiken Ziho*. 1950. No 4. P. 111–113.
90. Li Q., Pan Z., Deng G., Long H., Li Z., Deng X., Liang J.J., Tang Y., Zeng X., Tashi N., Yu M. Effect of wide variation of the *Waxy* gene on starch properties in hulless barley from Qinghai-Tibet plateau in China. *Agriculture and Food Chemistry*. 2014. No 62(47). P. 11369–11385.
91. Xue J., Wang R., Newman C., Graham H. Influence of the hulless, waxy starch, and short-awn genes on the composition of barley. *J. Cereal Sci.* 1997. No 26. P. 251–257.
92. Baik B.K., Ullrich S.E. Barley for food: characteristics, improvement, and renewed interest. *J. Cereal Sci.* 2008. No 48. P. 233–242. DOI: 10.1016/j.jcs.2008.02.002.
93. Bhatta R., Rossmagel B. Zero amylase lines of hulless barley. *Cereal Chem.* 1997. No 74. P. 190–191.
94. Ajithkumar A., Anderson R., Christerson T., Aman P. Amylose β -glucan content of new waxy barleys. *Starch/Stärke*. 2005. No 57. P. 235–239.
95. Yanagisawa T., Nagamine T., Takahashi A., Takayama T., Doi Y., Matsunaka H., Fujita M. Breeding of Kirari-mochi: A new two-rowed waxy hull-less barley cultivar with superior quality characteristics. *Breeding Science*. 2011. No 61. P. 307–310. DOI: 10.1270/jsbbs.61.307.
96. Taniguchi K., Komae K., Takahashi A., Yoshioka T., Sone Y. Effect of waxy barley, Kirarimochi, consumption on bowel movements of late-stage residents at Roken nursing home. *J. Physiol. Anthropol.* 2017. No 36. P. 17. DOI: 10.1186/s40101-017-0131-0.

97. Balounová M., Vaculová K., Hložková L., Mikulíková R., Ehrenbergerová J. The effect of the changed amylose and amylopectin ratio on the selected qualitative parameters in spring barley (*Hordeum vulgare* L.) grain. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelinae Brunensis*. 2013. Vol. LXI(3). P. 577–585. DOI: 10.11118/actaun201361030577.
98. Vasko N.I., Kozachenko M.R., Naumov O.G., Solonechnyi P.M., Vazhenina O.E., Solonechna O.V., Pozdniakov V.V., Sheliakina T.A., Ilchenko N.K., Suprun O.G., Serik M.L. Waxy barley starch as raw material for healthy food products. *Sel. Nasinn.* 2019. Is. 115. P. 18–32. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2019.172657>
99. Козаченко М.Р., Наумов О.Г., Васько Н.І., Солонечний П.М., Солонечна О.В., Важеніна О.Є., Садовой О.О. Селекція нових ліній ячменю ваху. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2016. Т. 18. С. 93–96.
100. Наумов О.Г., Козаченко М.Р., Васько Н.І., Солонечний П.М., Важеніна О.Є. Селекція ваху–ячменю. *Селекція і насінництво*. 2014. Вип. 105. С. 60–69. DOI: 10.30835/2413-7510.2014.42052.
101. US 6635298 B2. Method of preparing tortillas from waxy barley cultivars. Ames N., Sopiwnyk E.J., Therrien M. Her Majesty the Queen in Right of Canada, as Represented by the Department of Agriculture & Agri Food. 30 May 2000.
102. Polakova K., Vaculova K., Kucera L. Selection of barley lines with waxy endosperm and hullless grains: genotyping and phenotyping. *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*. 2004. V. 40. P. 114.
103. Zhang Y., Cai X., Wang L., Zhao H., Ma S., Xu Y., Tang H., Zhang X. Analysis of resistant starch content and accumulation characteristics in the glutinous barley grains with different genotypes. *Fujian Agricultural Science and Technology*. 2024. Vol. 55(6). P. 1-6. DOI: 10.13651/j.cnki.fjnykj.2024.06.001
104. Friero I., Martínez-Subirá M., Romero M.-P., Moralejo M. Improving functional and nutritional profiles of barley flours with diverse starch types

through pearling. *Food Chemistry*. 2024. Vol. 460(Pt 2). 140611. doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140611.

105. Tucakovich L., Colson N., Singh I. Relationship between common dietary polyphenols and obesity-induced inflammation. *Food Public Health*. 2015. No5(3). P. 84–91. DOI: 10.5923/j.fph.20150503.04.

106. Fardet A., Rock E., Rémésy C. Is the in vitro antioxidant potential of whole-grain cereals and cereal products well reflected in vivo? *J. Cereal Sci.* 2008. No 48(2). P. 258–276.

107. Madhujith T., Shahidi F. Antioxidant potential of barley as affected by alkaline hydrolysis and release of soluble-bound phenolics. *Food Chem.* 2009. No 117. P. 615–620.

108. Hodzic Z., Pasalic H., Memisevic A., Srabovic M., Saletovic M., Poljakovic M. The influence of total phenols content on antioxidant capacity in the whole grain extracts. *European Journal of Scientific Research*. 2009. Vol. 28. No 3. P. 471–477.

109. Desta K.T., Choi Y.M., Yoon H., Lee S., Yi J., Jeon Y., Wang X., Park J.C., Kim K.M., Shin M.J. Comprehensive characterization of Global barley (*Hordeum vulgare* L.) collection using agronomic traits, β -glucan level, phenolic content, and antioxidant activities. *Plants*. 2024. Vol. 13(2). P. 169. DOI: 10/3390/plants13020169.

110. Quinde-Axtelle Z., Baik B.K. Phenolic compounds of barley grain and their implication in food product discoloration. *J. Agric. Food Chem.* 2006. Vol. 54(26). P. 9978–9984. DOI: 10.1021/jf060974w.

111. Simic G., Horvat D., Dvojkovic K., Abicic J., Viljevac Vuletic M., Tucak M., Lalic A. Evaluation of total phenolic content and antioxidant activity of malting and hulless barley grain and malt extracts. *Czech. J. Food Sci.* 2017. Vol. 35(1). P. 73–78. DOI: 10.17221/144/2016-CJFS.

112. Dickin E., Steele K., Wright D. Hulless barley for functional food. Project Report No 472. HGGA. 2010. 48 p.

113. Dabina-Bicka I., Karklina D., Kruma Z. Polyphenols and vitamin E as potential antioxidants in barley and malt. *Proc. conf. FOODBALT 2011*. P. 121–126.
114. Jin H.M., Dang B., Zhang W.G. Polyphenol and anthocyanin composition and activity of Highland barley with different colors. *Molecules*. 2022. Vol. 27(11). P. 3411. DOI: 10.3390/molecules27113411.
115. Xu C., Abbas H.M.K., Zhan C., Huang Y., Huang S., Yang H., Wang Y., Yan H., Luo J., Zeng X. Integrative metabolomic and transcriptomic analyses reveal the mechanisms of Tibetan hulless barley grain coloration. *Front. Plant Sci*. 2022. Vol. 25(13). 1038625. DOI: 10.3389/fpls.2022.1038625.
116. Suriano S., Savino M., Codianni P., Iannucci A. Anthocyanin profile and antioxidant capacity in colored barley. *Int. J. of Food Sci. & Techn.* 2019. Vol. 5(7). DOI: 10.1111/ijfs.14203.
117. Zhang T., Ma J., Wu X., Hao Z., Dun C., Chen C. Qualitative and semi-quantitative assessment of anthocyanins in Tibetan hulless barley from different geographical locations by UPLC-QTOF-MS and their antioxidant capacities. *Open Chem.* 2021. Vol. 19. P. 1–8.
118. Diczhári I., Kursinszki L. Anthocyanin content and composition in winter blue barley cultivars and lines. *Cereal Chem.* 2014. Vol. 91. P. 195–200.
119. Yao X., Yao Y., An L., Li X., Bai Y., Cui Y., Wu K. Accumulation and regulation of anthocyanins in white and purple Tibetan hulless barley (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. F.) revealed by combined de novo transcriptomics and metabolomics. *BMC Plant Biology*. 2022. Vol. 22. P. 391. DOI: 10.1186/s12870-022-03699-2.
120. Pratyusha S. Phenolic compounds in the plant development and defense: An overview. In *Plant Physiology – Perspectives in Agriculture*. IntechOpen: Rijeka, Croatia, 2022.
121. Tena N., Martin I., Asuero A.G. State of the art of anthocyanins: Antioxidant activity, sources, bioavailability, and therapeutic effect in human health. *Antioxidants*. 2020. Vol. 9. P. 45.

122. Liang L., Li W., Tian M., Pan J., Feng Z. Metabolomic profiling of five hulless barley with different seed coat colors based on metabolomics approach. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2022. Vol. 69(1). DOI: 10.1007/s10722-022-01345-2.
123. Cavallero A., Viva M., Stanca A. Improvement of spaghetti and bread with beta-glucan and tocopherols from naked barley flour. Proc. Of the 8th Intl. Barley Genet. Symp. 2000. Vol. 1. P. 282–285.
124. Trowell H. Coronary heart disease and dietary fiber. *Am. Jour. Clin. Nutr.* 1975. Vol. 28. P. 798–800.
125. Newman R.K., Newman C.W. Barley for food and health – science technology and products. USA, 2009. 245 p.
126. Cory A.T., Båga M., Anyia A., Rohibbar R.N. Genetic markers for ClsF6 gene associated with (1,3; 1,4)- β -glucan concentration in barley grain. *J. Cereal Sci.* 2012. No 56(2). P. 332–339.
127. Gajdosova A., Petrulakova Z., Havrlentova M. et al. The content of water-soluble and water-insoluble β -D-glucans in selected oats and barley varieties. *Carbohydrate Polymers*. 2007. No 70. P. 46–52.
128. Henry R.J. Pentosan and (1-3, 1-4)- β -glucan concentrations in endosperm and wholegrain of wheat, barley, oats, and rye. *Journal of Cereal Science*. 1987. No 6. P. 253–258.
129. Nignpense B.E., Latif S., Francis N., Blanchard C.L. Bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenols from pigmented barley and wheat. *Foods*. 2022. Vol. 11(22). DOI: 10.3390/foods11223697.
130. Domon E., Fujita M., Ishikawa N. The insertion/deletion polymorphisms in the *waxy* gene of barley genetic resources from East Asia. *Theor. Appl. Genet.* 2002. No 104(1). P. 132–138.
131. Behall K.M., Scholfield D.J., Hallfrisch J.G. Lipids significantly reduced by diet containing barley compared to whole wheat and brown rice in moderately hypercholesterolemic men. *JAMA*. 2004. No 23. P. 55–62.

132. McIntosh G., Whyte J., McArthur R., Nestel P.G. Barley and wheat foods: influence on plasma cholesterol concentration in hypercholesterolemic men. *Am. J. Clin. Nutr.* 1991. V. 53. P. 1205–1209.
133. Simon O. Non starch polysaccharide (NSP) hydrolysing enzymes as feed additives: mode of action in gastrointestinal tract. *Lohmann Information*. 2000. No 23. P. 7–13.
134. Rudi H., Uhlen A.K., Harstad O.M. et al. Genetic variability in cereal carbohydrate compositions and potentials for improving nutritional value. *Animal Feed Science and Technology*. 2006. No 130. P. 55–65.
135. Chen J., Raymond K. Beta-glucans in the treatment of diabetes and associated cardiovascular risk. *Vasc. Health Risk Manag.* 2008. No 4(6). P. 1265–1272.
136. Kim H., Behall K.M., Vinyard B., Conway J.M. Short-term satiety and glycemic response after consumption of whole grains with various amounts of β -glucan. *Cereal Foods World*. 2006. No 51. P. 29–33.
137. Wood P.J. Cereal β -glucans in diet and health. *J. Cereal Sci.* 2007. No 46. P. 230–238.
138. Aldughpassi A., Abdel-Aal E.S.M., Wolever T.M.S. Barley cultivar, kernel composition and processing affect glycemic index. 2012. *J. Nutr.* No 142. P. 1666–1671.
139. Hang A., Obert D., Gironella A.I.N., Burton C.S. Barley amylase and β -glucan: their relationship to protein, agronomic traits, and environmental factors. *Crop Sci.* 2007. No 47(4). P. 1754–1760.
140. Behall K.M., Scholfield D.J., Hallfrisch J. Diets containing barley significantly reduce lipids in mildly hypercholesterolemic men and women. *Am. J. Nutr.* 2004. No 80. P. 1185–1193.
141. Aggarwal B., Sundaram C., Prasad S., Kannappan R. Tocotrienols, the vitamin E of the 21st century: its potential against cancer and other chronic diseases. *Biochem. Pharmacology*. 2010. V. 80. P. 1613–1631.

142. Shimizu C., Kihara M., Aoe S., Araki S., Ito K., Hayashi K., Watari J., Sakata Y., Ikegami S. Effect of high β -glucan barley on serum cholesterol concentrations and visceral fat area in Japanese men – A randomized, double-blinded, placebo-controlled trial. *Plant Foods Hum. Nutr.* 2008. No 63(1). P. 21–25.

143. Катрій В.Б., Рибалка О.І., Моргун Б.В. Фізіолого-біохімічні та генетичні особливості ячменю як продукту функціонального харчування. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53, № 6. С. 463–483. DOI: 10.15407/frg2021.06.463.

144. Poljsak B., Kovač V., Milislav I. Antioxidants, food processing health. *Antioxidants*. 2021. Vol. 10. P. 433.

145. Martinez-Subirà M., Paz Romero M., Puig E., Macià A., Romagosa I., Moralejo M. Purple, high β -glucan, hulless barley as valuable ingredient for functional food. *LWT*. 2020. Vol. 131. DOI:n 10.116/j.lwt.2020.19582.

146. Reinhardt D., Jansen G., Seddig S., Eichler-Löbermann B. Temperature stress during flowering time affects yield and quality parameters of waxy barley. *Landbauforsch–Appl. Agric. Forestry Res.* 2013. No 63. P. 79–84. DOI: 10.3220/LBF_2013_79-84.

147. Рибалка О.І., Поліщук С.С., Поздняков В.В., Діденко С.Ю. Антиоксидантна активність та інші характеристики харчової цінності зерна ячменю. *Вісник Харківського НАУ. Серія «Біологія»*. 2016. Вип. 3(39). С. 64–71.

148. El-Sayed M., Abdel-Aal E.S.M., Choo T.M. Differences in compositional properties of a hulless barley cultivar grown in 23 environments in eastern Canada. *Canadian Journal of Plant Science*. 2014. No 94(5). P. 807–815. DOI: 10.4141/cjps2013-301.

149. Peh H.Y., Tan W.S.D., Liao W., Wong W.S.F. Vitamin E therapy beyond cancer: Tocopherol versus tocotrienol. *Pharmacol. Ther.* 2016. No 162(1). P. 152–169.

150. Sen S.K., Khanna S., Roy S. Tocotrienols in health and disease: The other half of the natural vitamin E family. *Mol. Aspects Med.* 2007. No 28(5-6). P. 692–728.
151. Lobo V., Patil A., Phatak A., Chandra N. Free radicals, antioxidants and functional foods: impact of human health. *Pharmacol. Rev.* 2010. V. 4(8). P. 118–126.
152. Zheng X., Li L., Wang X. Molecular characterization of arabinoxylans from hull-less barley milling fractions. *Molecules.* 2011. No 16(4). P. 2743–2753.
153. Suriano S., Iannucci A., Codianni P., Fares C., Menga V., Russo M., Marciello U., Troccoli A. Carotenoids and tocopherols content in genotypes of colored barley. *J. of Cereal Science.* 2020. Vol. 96. DOI: 10.1016/j.jcs.2020.103110.
154. Legzdina L., Ivdre E., Piliksere D., Vaivode A., Mierina I., Jure M. Effect of genotype and crop management systems on the content of antioxidants in hulless and covered spring barley. *Zemdirbyste–Agriculture.* 2018. Vol. 105. No 4. P. 315–322. DOI: 10.13080/z-a.2018.105.040.
155. Do T.D.T., Cozzolino D., Muhlhausler B., Box A., Able A.J. Antioxidant capacity and vitamin E in barley: effect of genotype and storage. *Food Chemistry.* 2015. No 187. P. 65–74. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.028.
156. Ehrenbergerová J., Belcrediová N., Prýma J., Vaculová K., Newman C.W. Effect of cultivar, year grown, and cropping system on the content of tocopherols and tocotrienols in grains of hulled and hulless barley. *Plant Foods for Human Nutrition.* 2006. Vol. 61. No 3. P. 145–150. DOI: 10.1007/s11130-006-0024-6.
157. Cavallero A., Gianinetti A., Finocchiaro F., Delogu G., Stanca A.M. Tocopherols in hull-less and hulled barley, genotypes grown in contrasting environments. *Journal of Cereal Science.* 2004. Vol. 39. No2. P. 175–180. DOI: 10.1016/S0733-5210(03)00072-9.
158. Gamel T.H., Abdel-Aal E.S.M. Phenolic acids and antioxidant properties of barley wholegrain and pearling fractions. *Agricultural and Food Science.* 2012. Vol. 21. No 2. P. 118–131. DOI: 10.23986/afsci.4727.

159. Gangopadhyay N., Rai D.K., Brunton N.P., Gallagher E., Hossain M.B. Antioxidant-guided isolation and mass spectrometric identification of the major polyphenols in barley (*Hordeum vulgare*) grain. *Food Chemistry*. 2016. No 210. P. 212–220. DOI: 10.1016/j.foodchem.2016.04.098.
160. Kim M.-J., Hyun J.-N., Kim J.-A., Park J.-C., Kim M.-Y., Kim J.-G., Lee S., Chun S., Chung I.-M. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2007. Vol. 55. No 12. P. 4802–4809. DOI: 10.1021/jf0701943.
161. Moreau R.A., Wayns K.E., Flores R.A., Hicks K.B. Tocopherols and tocotrienols in barley oil prepared from germ and other fractions from scarification and sieving of hulless barley. *Cereal Chemistry*. 2007. Vol. 84. No 6. P. 587–592. DOI: 10.1094/CCHEM-84-6-0587.
162. Tsochatzis E.D., Bladenopouls K., Papageorgiou M. Determination of tocopherol and tocotrienol content of Greek barley varieties under conventional and organic cultivation techniques using validated reverse phase high-performance liquid chromatography method. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2012. Vol. 92. No 8. P. 1732–1739. DOI: 10.1002/jsfa.5539.
163. Wang L., Xue Q., Newman R., Jackson L. Tocotrienol and fatty acid composition of barley oil and their effects on lipid metabolism. *Plant Foods Hum. Nutr.* 1993, V. 43. P. 9–17.
164. Aman P., Hesselman K., Tilly A. Variation in the chemical composition of Swedish barley. *J. Cereal Sci.* 1985. V. 3. P. 73–77.
165. Wijekoon C., Netticadan T., Sabra A., Yu L., Kodikara C., Badea A. Analyses of fatty acids, proteins, ascorbic acid, bioactive phenolic compounds and antioxidant activity of Canadian barley cultivars and elite germplasm. *Molecules*. 2022. Vol. 27. DOI: 10.3390/molecules2722782.
166. Price P.B., Parsons J. Distribution of lipids in embryonic axis, bran–endosperm, and hull fractions of hulless barley and hulless oat grain. *J. Agr. Food. Chem.* 1979. Vol. 27. No 4. P. 813–815.

167. Seefeldt H.F., Larsen K.H., Viereck N., Engelsen S.B. Lipid composition and deposition during grain filling in intact barley (*Hordeum vulgare*) mutant grains as studies by 1H HR MAS NMR. *J. of Cereal Science*. 2011. V. 54(3). P. 442–449. DOI: 10.1016/j.jcs.2011.08.009.
168. Handbook of cereal science and technology. In: K. Kulp, J.G. Ponte, editors. New York-Basel: Marcel Dekker, Inc. 2000. P. 106–107.
169. Tester R., Morrison W. Swelling and gelatinization of cereal starches: III. Some properties of waxy and normal starches. *Cereal Chem*. 1992. No. 69. P. 83–92.
170. Osman R.O., Abd El Gelil F.M., El-Naamany H.M., Davood M.G. Oil content and fatty acid composition of some varieties of barley and sorghum grains. *Grasas y Aceites*. 2000. V. 51(3). P. 157–162. DOI: 10.3989/gya.2000.v51.i3.472.
171. Özcan M.M., Aljuhaimi F., Uslu N. Effect of malt process steps on bioactive properties and fatty acid composition of barley, green malt and malt grains. *J. of Food Science and Technology*. 2017. V. 55(1). P. 226–232. DOI: 10.1007/s13197-017-2920-1.
172. Parsons J.G., Price Ph.B. Search for barley (*Hordeum vulgare* L.) with higher lipid content. *Lipids*. 1974. No 9. P. 804. DOI: 10.1007/BF02532149.
173. Halliwell B. Biochemistry of oxidative stress. *Biochem. Soc. Trans.* 2007. No 35(5). P. 1147–1150.
174. Price P.B., Parsons J. Neutral lipids of barley grain. *J. Agric. Food. Chem.* 1980. Vol. 28. P. 875.
175. Васько Н.И., Супрун О.Г., Шелякина Т.А., Ильченко Н.К., Важенина О.Е., Солонечная О.В. Содержание и жирнокислотный состав масла в зерне сортов ярового ячменя. Mat. conferinței științifico-practice internațională «Aspecte inovative în ameliorare culturilor agricole», 6 septembrie, 2018, Pașcani. P. 227–233.
176. Васько Н.И., Солонечный П.М., Ильченко Н.К., Солонечная О.В., Зимогляд О.В., Шевченко Г.С. Вміст олії в зерні ячменю ярого. Міжнарод.

наук.-практич. конф. «Наукові читання до 85-річчя від дня народження професора В.Г. Вировця», 05 березня 2022 р., Глухів. С. 19–21.

177. Fedak G., La Roche I. Lipid and fatty acid composition of barley kernels. *Can. J. of Plant Science*. 1977. V. 57(1). P. 257–260. DOI: 10.4141/cjps77-035.

178. De Man W., Bruyneel P. Fatty acid content and composition in relation to grain-size in barley. *Phytochemistry*. 1987. No. 26. P. 1307–1310.

179. Stoskopf N.C., Reinberg E. Breeding for yield in spring cereals. *Canad. J. Plant Sci.* 1966– № 46. P. 513.

180. Minarik F. Slechteni na produkci potencia. Jechmen, Statni zemedelske nakladatelstvi. Praha, 1985. P. 80.

181. Yadav R.K., Gautan S., Palikney E., Joshi B.L., Ghimire K.H., Gurung R., Adhikari A.R., Pudasaini N., Dhakal R. Agro-morphological diversity of Nepalese naked barley landraces. *Agriculture & Food Security*. 2018. Vol. 7. Art. No 86.

182. Abebe D.T., Bauer A.M., Léon J. Morphological diversity of Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) in relation to geographic regions and attitudes. *Hereditas*. 2010. Vol. 147, Is. 4. P. 154–164. DOI: 10.1111/j.1601-5223.2010.02173x.

183. Васько Н.І., Козаченко М.Р., Зимогляд О.В., Солонечний П.М., Важеніна О.Є., Солонечна О.В., Наумов О.Г. Рівень і варіабельність цінних господарських ознак ячменю ярого в залежності від генотипу та гідротермічних умов. *Селекція і насінництво*. 2020. Вип. 118. С. 22–35. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2020.222266>

184. Васько Н.І. Урожайність та маса 1000 зерен сортів ячменю ярого і кореляція між ними. *Селекція і насінництво*. 2017. Вип. 111. С. 28–39. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2017.1044883>

185. Kozachenko M.R., Solonechnyi P.M., Zymogliad O.V., Vasko N.I., Vazhenina O.E., Naumov O.G., Kobyzeva L.N., Kolomatska V.P. Value of *Hordeum vulgare* L. genotypes in terms of yield and its stability. *Zemes ukio*

<https://doi.org/10.6001/zemesukiomokslai.v29i1.4758>

186. Козаченко М.Р., Васько Н.І., Весна С.В., Заїка О.В., Наумов О.Г. Створення сортів ярого ячменю зернового напрямку використання. *Корми і кормовиробництво*. 2006. Вип. 57. С. 61–66.

187. Yiğit A., Chmielewski F.M. A deeper insight into the yield formation of winter and spring barley in relation to weather and climate variability. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. DOI: 10.3390/agronomy14071503.

188. Бабаш А.Б. Реалізація адаптивних систем стійкості ярого ячменю до посухи в умовах Причорноморського степу. *Зб. наук. праць СГІ-НЦНС УААН*. 2008. Вип. 12 (52). С. 167–173.

189. Gallais A., Neveu A. Changement climatique et production agricole. 2015. [http:// www.inra.fr](http://www.inra.fr).

190. Giancarla V., Madosa E., Ciulca S., Ciulca A., Petolescu C., Bitea N. Assessment of drought tolerance in some barley genotypes cultivated in West part of Romania. *J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2010. No 14(3). P. 114–118.

191. Hakala K., Jauhiainen L., Himanen S. et al. Climate Change agriculture paper. Sensitivity of barley varieties to weather in Finland. *Journal of Agriculture Science*. 2012. No 150. P. 145–160. DOI: 10.1017/S0021859611000694.

192. Гудзенко В.М. Урожайність та стабільність Миронівських сортів ячменю озимого. *Селекція і насінництво*. 2018. Вип. 113. С. 55–77. DOI: 10.30835/2413-7510.2018.134358.

193. Гудзенко В.М., Васильківський С.П. Основні напрями та завдання селекції ячменю озимого у Центральному Лісостепу України. *Новітні агротехнології*. 2016. № 1. <http://plant.gov.ua/uk/2016-1-2>.

194. Kendal E. GGE biplot analysis of multi-environment yield trials in barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *Journal of Crop Breeding and Genetics*. 2016. № 2(1). P. 90–99.

195. Khanzadeh H., Vaezi B., Mohammadi R., Mehraban A., Hosseinpor T., Shahbazi K. Grain yield stability of barley genotypes in uniform regional yield trails in warm and semi warm dry land area. *Indian J. Agric. Res.* 2018. № 52(1). P. 16–21. DOI: 10.18805/IJARE.A-290.
196. Aarushi, Navneet Kumari, Komal, Kirpa Ram. Physiological and yield characteristics of barley (*Hordeum vulgare*) genotypes subjected to drought stress. *Annals of Biology.* 2023. Vol. 39(2). P. 362–369.
197. Visionsi A., Basile B., Amri A., Sanchez-Garcia M., Corrado G. Advancing the conservation and utilization of barley genetic resources: insights into germplasm management and breeding for sustainable agriculture. *Plants.* 2023. Vol. 12(18). doi: 10.3390/plants12183186
198. Жученко А.А. Экологическая генетика культурных растений (адаптация, рекомбиногенез, агробиоценоз). Кишинев; Штиинца, 1980. С. 28–201.
199. Васько Н.І., Солонечний П.М., Козаченко М.Р., Наумов О.Г., Важеніна О.Є., Солонечна О.В., Зимогляд О.В. Варіабельність продуктивності та її структурних елементів у сортів ячменю ярого. *Миронівський вісник.* 2017. Вип. 5. С. 21–31.
200. Serrago R.A., García G.A., Savin R., Miralles D.J., Slafer G.A. Relevance of grain number and grain weight on barley yield responses to environmental and genetic factor. *Field Crops Research.* 2025. Vol. 328(1). P. 109922. doi: 10.1016/j.fcr.2025.1099229.
201. Abd El-Hammed Attia M., Abou El-Enin M.M., Abou Tahoun A.M., Abdelghany F.I.M., El-Serafy R.S. Productivity of some barley cultivars as affected by supplemental irrigation under rainfed conditions. *AJCS.* 2022. Vol. 16(05). P. 665–675. doi: 10.21475/ajcs.22.16.05.p3647
202. Vasko N.I., Solonechnyi P.M., Naumov O.G., Kozachenko M.R., Kobyzeva L.N., Zymogliad O.V. Correlation and path analyses of the performance elements in spring barley cultivars. *Journal of Central European Agriculture (JCEA).* 2023. V. 24. No 2. P. 403–412. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.2.3735>

203. Гавриленко В.С. Формування основних елементів структури урожаю ячменю голозерного ярого залежно від удобрення. Таврійський науковий вісник. 2023. № 134. С. 24–29. doi: 10.32782/2226-0099.2023.134.4
204. Thirulogachandar V., Schnurbusch T. Spikelet stop' determines the maximum yield potential stage in barley. *Journal of Experimental Botan.*, 2021. Vol. 72, Is. 22. P. 7743–7753. doi: 10.1093/jxb/erab342
205. Benlioglu B., Bilir M., Akdogan G., Ahmed H.A.A., Ergün N., Aydogan S., Emrebaş T. Phenotypic characterization of two-row barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) germplasm conserved in Osman Tosun Genebank of Türkiye by multivariate analysis model. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2024. Vol. 72(2). P. 1567–1584. doi:10.1007/s10722-024-02032-0
206. Холод С.М., Іллічов Ю.Г., Кір'ян В.М., Музафарова В.А. Характеристика сортів ярого ячменю за продуктивністю в південному Лісостепу України. Зрошуване землеробство. Вип. 77. С. 99–106. doi: 10.32848/0135-2369.20222.7.20
207. Kaur V., Aravind J., Manju, Jacob S.R., Kumari J., Panwar B.S., Pal N., Rana J.C., Pandey A., Kumar A. Phenotypic characterization, genetic diversity assessment in 6,778 accessions of barley (*Hordeum vulgare* L. ssp. *vulgare*) germplasm conserved in National Genebank of India and development of a core set. *Front. Plant Sci.* 2022. Sec. Plant Breeding. Vol. 13. doi: 10.3389/fpls.2022.771920.
208. Marone D., Russo M.P., Mores A., Ficco D.B.M., Laidò G., Mastrangelo A.M., Borrelli G.M. Importance of landraces in cereal breeding for stress tolerance. *Plants*. 2021. Vol. 10. doi: 10.3390/plants10071267
209. Czembor J.H. Barley genetic resources: advancing conservation and applications for breeding. *Agronomy*. 2023. No 12. P. 2901. doi: 10.3390/agronomy13122901
210. Yang J., Ahmed H.G.M.D., Akram M., Iqbal R., Alwahibi M.S., Elshikh M.S., Zeng Y. Drought-induced trait correlations in barley genotypes

through a multi-trait selection approach. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2025. Vol. 23(3). doi: 10.15666/aeer/2303_56575674

211. He T., Angessa T.T., Li C. Pleiotropy structures plant height and seed weight scaling in barley despite long history of domestication and breeding selection. *Plant Phenomics*. 2023. Vol. 30(5). P. 0015. doi: 10.34133/plantphenomics.0015

212. Popova T., Valcheva D. Analysis of two-row barley accessions by commercial traits for selection purposes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2021. Vol. 27 (No 6). P. 1143–1146.

213. Desta K.T., Choi Y.M., Yoon H., Lee S., Yi J., Jeon Y., Wang X., Park J.C., Kim K.M., Shin M.J. Comprehensive characterization of Global barley (*Hordeum vulgare* L.) collection using agronomic traits, β -glucan level, phenolic content, and antioxidant activities. *Plants*. 2024. V. 13(2). P. 169. Doi: 10.3390/plants13020169

214. Юла В.М., Камінська В.В., Породько М.А., Дудка О.Ф., Мушик Б.В. Особливості формування врожаю ячменю ярого залежно від елементів технології вирощування. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2024. Вип. 3(13). С. 76–86. doi: 10.54651/agri.2024.03.08

215. Chen Z., Ke W., He F., Chai L., Cheng X., Xu H., Wang X., Du D., Zhao Y., Chen X., et al. A single nucleotide deletion in the third exon of FT-D1 increases the spikelet number and delays heading date in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biotechnol. J.* 2022. Vol. 20. P. 920–933. doi: [10.1111/pbi.13773](https://doi.org/10.1111/pbi.13773)

216. Huang Y., Kamal R., Shanmugaraj N., Rutten T., Thirulogachandar V., Zhao S., Hoffie I., Hensel G., Rajaraman J., Moya Y.A.T., et al. A molecular framework for grain number determination in barley. *Sci. Adv.* 2023. Vol. 9. doi: 10.1126/sciadv.add0324

217. Fan C., Xu D., Wang C., Chen Z., Dou T., Qin D., Guo A., Zhao M., Pei H., Zhao M., Zhang R., Wang Ke, Zhang J., Ni Z., Guo G. Natural variations of *HvSRN1* modulate the spike rachis node number in barley. *Plants Communications*. 2024. Vol. 5. Issue 1. doi: 10.1016/j.xplc.2023.100670

218. Yirgu M., Kebede M., Feyissa T., Lakew B., Woldeyohannes A.B. Morphological variations of qualitative traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) accessions in Ethiopia. *Heliyon*. 2022. Vol. 8, Is. 10. doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10949

219. Sakuma S., Schnurbusch T. Of floral fortune: tinkering with the grain yield potential of cereal crops. *New Phytol.* 2020. Vol. 225. P. 1873–1882. doi: 10.1111/nph.16189

220. Shrimali J., Shekhawat A.S., Kumari S. Genetic variation and heritability studies for yield and yield components in barley genotypes under normal and limited moisture conditions. *J. of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017. № 6(4). P. 233–235.

221. Jalata Z., Ayana A., Zeleke H. Variability, heritability and genetic advance for some yield and yield related traits in Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces and crosses. *Int. J. of Plant Breeding and Genetics*. 2011. № 5. Issue 1. P. 44–52. DOI: 10.3923/ijpbg.2011.44.52.

222. Dyunderova B., Valcheva D. Heritability, variance components and genetic advance of yield and some yield related traits in barley doubled haploid lines. *Turkish J. of Agricultural and Natural Science*. 2014. № 1. P. 614–617.

223. Addisu F., Shumet T. Variability, heritability and genetic advance for some yield and yield related traits in barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces in Ethiopia. *Int. J. of Plant Breeding and Genetics*. 2015. № 9. Issue 2. P. 68–76. DOI: 10.3923/ijpbg.2015.68.76.

224. Abd El-Mohsen A.A. Correlation and regression analysis in barley. *Scientific Research and Review J.* 2013. № 1. Issue 3. P. 88–100.

225. Kole P.C. Variability, correlation and regression analysis in third somaclonal generation of barley. *Barley Genetics Newsletter*. 2006. № 36. P. 44–47.

226. Porumb J., Rusu F., Tritean N. The variation and heritability of some morpho-productive traits of spring barley (Turda 2016). *Research J. of Agricultural Science*. 2016. № 48. Issue 4. P. 132–138.

227. Addisu F., Shumet T. Variability, heritability and genetic advance for some yield and yield related traits in barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces in Ethiopia. *Int. J. of Plant Breeding and Genetics*. 2015. № 9. Issue 2. P. 68–76. DOI: 10.3923/ijpb.2015.68.76.

228. Ahmadi J., Vaezi B., Pour-Aboughadareh A. Analysis of variability, heritability and interrelationships among grain yield and related characters on barley advanced lines. *Genetika*. 2016. № 48. Issue 1. P. 73–85. DOI: 10.2298/GENSR1601073A.

229. Tilahua G.W., Gedebo A., Olango T.M. Dissection of variance components heritability, and selection intensity studies among food barley (*Hordeum vulgare* L.) breeding lines in Arsi, South-Eastern Ethiopia. *Discover Agriculture*. 2025. Vol. 3(1). DOI: 10.1007/s44279-025-00295-4.

230. Abd El-Mohsen A.A. Correlation and regression analysis in barley. *Scientific Research and Review J*. 2013. № 1. Issue 3. P. 88–100.

231. Козаченко М.Р., Солонечний П.М. Селекційно-генетичні особливості та ефективність розширення генетичного різноманіття і створення нових різновиднісних форм ячменю ярого. В кн.: Селекційно-генетичні дослідження ячменю ярого. За ред. М.Р. Козаченка. Харків, 2012. С. 139–237.

232. Компанець К.В., Козаченко М.Р., Васько Н.І., Наумов О.Г., Солонечний П.М., Святченко С.І. Кореляція між кількісними ознаками сортів ячменю ярого. *Селекція і насінництво*. 2016. Вип. 109. С. 40–46.

233. Budakli Caprici E., Celik N. Correlation and Path coefficient analyses pf grain yield and yield-components in two-rowed of barley (*Hordeum vulgare* L. convar. *distihon*) varieties. *Notulae Scientia Biologicae*. 2012. № 4(2). P. 128–131.

234. Козаченко М.Р., Солонечна О.В. Закономірності прояву цінних селекційних ознак в системі діалельних схрещувань і топкросів сучасних сортів ячменю ярого. Селекційно-генетичні дослідження ячменю ярого (під

ред. М.Р. Козаченка). Харків: Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН, 2012. С. 68–75.

235. Rahimi-Baladezaie R., Nemati N.A., Mobasser H.R., Ghanbari-Malidarreh A., Dastan S. Effects of sowing dates and CCC application on yield and yield components of barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in the North of Iran. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.* 2011. № 11(1). P. 49–54.

236. Abdullah A.H., Rihan H.Z. The relationship between yield parameters and morphological characters for barley: evaluating linear and non-linear models. *Agric. Res. & Technol.* 2018. Vol. 14. Is. 1. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2018.14.555907.

237. Hailu A., Alamarew S., Nigussie M., Assefa E. Correlation and path analysis of yield and yield associated traits in barley (*Hordeum vulgare* L.) germplasm. *Advances in crop science and technology*. 2016. Available at: www.omicsonline.org.

238. Al-Tabbal J.A., Al-Fraihat A.H. Genetic variation, heritability, phenotypic and genotypic correlation studies for yield and yield components in promising barley genotypes. *Journal of Agriculture Science*. 2012. № 4(3). P. 193–210. DOI: 10.5539/jas.v4n3p193.

239. Shrimali J., Shekhawat A.S., Kumari S. Correlation and path analysis studies in barley (*Hordeum vulgare* L.) genotypes under normal and limited moisture conditions. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2017. № 6(8). P. 1850–1856. DOI: 10.20546/ijcmas.2017.608.218.

240. Gocheva M. Study of the productivity elements of spring barley using correlation and path-coefficients analysis. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*. 2014. № 2. P. 1638–1645.

241. Козаченко М.Р., Солонечний П.М., Васько Н.І. Рівень, варіабельність та кореляція кількісних ознак у форм різних різновидностей ячменю ярого. *Селекція і насінництво*. 2011. Вип. 100. С. 46–58.

242. Козаченко М.Р., Наумов О.Г., Васько Н.І. Селекційно-генетичні особливості ячменю з різним вмістом амілопектину в крохмалі. *Вісник*

Харківського НАУ, Серія «Рослинництво, селекція і насінництво, плодовоовочівництво». 2011. № 10'11. С. 8–21.

243. Siebenhandl S., Grausgruber H., Pellegrini N., Del Rio D., Fogliano V., Pernice R., et al. Phytochemical profile of main antioxidants in different fractions of purple and blue wheat, and black barley. *J. Agro. Food Chem.* 2007. Vol. 55. P. 8541–8547. DOI: 10.1021/jf072021

244. Paulaneyer M., Chatham L., Becker T., West M., West L., Juvik J. Survey of anthocyanin composition and concentration in diverse maize germplasms. *J. Agric. Food Chem.* 2017. Vol. 65. P. 4341–4350

245. Bungartz A., Klaus M., Mathew B., Léon J., Naz A.A. Development of new SNP derived cleaved amplified polymorphic sequence marker set and its successful utilization in the genetic analysis of seed color variation in barley. *Genomics.* 2016. Vol. 107. P. 100–107. DOI: 10.1016/j.ygeno.2015.12.007.

246. Jia Q., Wang J.M., Zhu J.H., Hua W., Shang Y., Yang J.M., et al. Toward identification of black lemma and pericarp gene *Blp1* in barley combining bulked segregant analysis and specific-locus amplified fragment sequencing. *Front. Plant Sci.* 2017. Vol. 8. P. 1414. DOI: 10.3389/fpls.2017.01414

247. Liu Y., Chen P., Li W., Liu X., Yu G., Zhao H., Zeng S., Li M., Sun G., Feng Z. Conjunctive analyses of BSA-seq and BSR-seq to identify candidate genes controlling the black lemma and pericarp trait in barley. *Int. J. Mol. Sci.* 2023. Vol. 24(11). DOI: 10.3390/IJMS24119473

248. Błaszczyk K., Nowak R., Stuper-Szablewska K. Black barley grain and its processing by-product as a potential raw material for functional food. *Food and Bioprocess Technology.* 2025. Vol. 18(5). P. 4859–4874. DOI:10.1007/s11947-025-03753-5

249. Cockram J., White J., Zuluaga D.L., Smith D., Comadran J., Macaulay M., et al. Genome-wide association mapping to candidate polymorphism resolution in the unsequenced barley genome. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 2010. Vol. 107. P. 21 611–21616. DOI: 10.1073/pnas.1010179107

250. Bayable D.M., Caspersen A., Fiedler J.D., Hu G., Gao D. Genetic analysis and molecular mapping of the purple leaf sheath in barley (*Hordeum vulgare*). *The Plant Genome*. 2025. Vol. 18(2). DOI:10.1002/tpg2.70034

251. Рибалка О.І., Поліщук С.С., Червоніс М.В., Моргун Б.В., Моргун В.В. Голозерний харчовий ячмінь (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum*) – генетичні та селекційні дослідження. *Фізіологія Рослин І Генетика*. 2023. Т. 55. № 6. DOI: 10.15407/frg2023.06.463

252. Jia Y., Selva C., Zhang Y., Li B., McFawn L.A., Broughton S., Zhang X. et al. Uncovering the evolutionary origin of blue anthocyanins in cereal grains. *Plant J*. 2020. Vol. 101. P. 1057–1074.

253. Kaur S., Tiwari V., Kumari A., Chaudhary E., Sharma A., Ali U., Garg M.J.J.B. Protective and defensive role of anthocyanins under plant abiotic and biotic stresses: an emerging application in sustainable agriculture. *J. Biotechnol*. 2020. Vol. 361. P. 12–29.

254. Shomali A., Das S., Arif N., Sarraf M., Zahra N., Yadav V., Aliniaefard S. et al. Diverse physiological roles of flavonoids in plant environmental stress responses and tolerance. *Plants*. 2022. Vol. 11. P. 3158.

255. Fich R.A., Porter G.E. A single gene determining two new aleurone colors in barley. *Barley Genetics Newsletter*. 1976. Vol. 6. P. 26–27.

256. Vasko N.I., Kozachenko M.R., Pozdniakov V.V., Naumov O.G., Solonechnyi P.M., Vazhenina O.E., Solonechna O.V., Zymogliad O.V., Sheliakina T.A., Ilchenko N.K., Antsyferova O.V., Suprun O.G., Serik M.L. Creation of naked varieties and lines of spring barley with high food qualities. *Sel. Nasinn*. 2018. Is. 114. P. 25–38. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2018.152128>.

257. Васько Н.І., Козаченко М.Р., Солонечний П.М., Наумов О.Г., Зимогляд О.В., Михайленко Є.О. Голозерні сорти ячменю для забезпечення продовольчої безпеки. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101. № 10. С. 34–40. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-05>

258. Васько Н.І., Солонечний П.М., Солонечна О.В., Наумов О.Г., Козаченко М.Р., Зимогляд О.В., Михайленко Є.О. Цінність голозерного

ячменю з кольоровим зерном як вихідного матеріалу для селекції харчового ячменю. Proc. of the 4th Internat. Sci. and Prac. Internet conf. «Ways of Science development in modern crisis conditions», June 8–9, 2023. Dnipro, Ukraine, 2023. P. 111–112.

259. Vasko N., Mykhailenko E. Anthocyanins in naked pigmented barley grain as a source of antioxidant activity. *Food Science & Nutrition Technology*. 2023. V. 8. Issue 3. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000301>

260. Griffing B. A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*. 1956. V. 10. P. 31–50.

261. Beil G.M., Atkins R.E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa State J. Science*. 1965. Vol. 39. № 6. P. 165–179.

262. Рожков А.О., Пузік В.К., Каленська С.М., Пузік Л.М., Попов С.І., Музафаров Н.М., Бухало В.Я., Криштоп Є.О. Дослідна справа в агрономії. Книга 2. Статистична обробка результатів агрономічних досліджень. Харків: Майдан, 2016. 342 с.

263. <https://psymag.info/article/d-agrama-rozmahu-abo-yashchik-z-vusami-1631725548/>

264. Mac Gregor A., Fincher G. Carbohydrate of the barley grain. In: *Barley: Chemistry and technology*. A.W. Mac Gregor, R.S. Bhatti, eds. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, 1993. P. 73–130.

264. Bobo-García G., Davidov-Pardo G., Arroqui C., Vírveda P., Marín-Arroyo M.R., Navarro M. Intra-laboratory validation of microplate methods for total phenolic content and antioxidant activity on polyphenolic extracts, and comparison with conventional spectrophotometric methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2015. V. 95(1). P. 204–209. <https://doi.org/10.1002/jsfa.670>

266. Nogues S., Baker N.R. Effects of drought on photosynthesis in Mediterranean plants grown under enhanced UV-B radiation. *J. of Experimental Botany*. 2000. V/ 51/ Is. 348. P. 1309–1317. <https://doi.org/10.1093/jxb/51.348.1309>

267. Singleton V.R., Orthifer R., Lamuela-Raventos R.M. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 1999. No 299. P. 152–178.
268. Massman S., Meints B., Hernandez J., Kunze K., Hayes P.M., Sorrelles M.E., Smith K.P., Dawson J.C., Guttierrez L Genetic characterization of agronomic traits and gain threshability for organic naked barley in the northern United States. *Crop Science*. 2022. Vol. 62. Is. 2. P. 690–703. doi: 10.1002/csc2.20686
269. Francavilla A., Joye I.J. Anthocyanins in whole grain cereals and their potential effect on health. *Nutrients*. 2020. Vol. 12. P. 2922.
270. Zhang Y., Yin L., Huang L., Tekliye M., Xia X., Li J., Dong M. Composition, antioxidant activity, and neuroprotective effects of anthocyanin-rich extract from purple highland barley bran and its promotion on autophagy. *Food Chem*. 2021. Vol. 339. P. 127849.
271. Dhua S., Kumar K., Kumar Y., Singh L., Sharanagat V.S. Composition, characteristics and health promising prospects of black wheat: A Review. *Undefined*. 2021 Vol. 112. P. 780–794.
272. Jia Q., Wang J., Zhu J., Hua W., Shang Y., Yang J. Toward identification of black lemma and pericarp gene *Blp1* in barley combining bulked segregant analysis and specific locus amplified fragment sequencing. *Front. Plant Sci*. 2017. V. 8. P. 1414. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01414>.
273. Kim M., Hyun J., Kim J., Park J., Kim M., Kim J. Relationship between phenolic compounds, anthocyanins content and antioxidant activity in colored barley germplasm. *J. Agric. Food Chem*, 2007. V. 55(12). P. 4802–4809. <https://doi.org/10.1021/jf0701943>.
274. Sharma P., Gujral H.S. Antioxidant and polyphenol oxidase activity of germinated barley and its milling fractions. *Food Chem*. 2010. V. 120. P. 673–678. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.059>
275. Ianucci A., Suriano S, Codianni P. Genetic diversity for agronomic traits and phytochemical compounds in colored naked barley lines. *Plants*. 2021.

V. 10(8). P. 1575. <https://doi.org/10.3390/plants10081575>.
<https://doi.org/10.3390/plants10081575>

276. Han Z., Zhang J., Cai S., Chen X., Quan X., Zhang G. Association mapping for total polyphenol content, total flavonoid content and antioxidant activity in barley. *BMC Genomics*. 2018. V. 19. P:81–90.
<https://doi.org/10.1186/S12864-018-4483-6>.

277. Liu Z., Liu Y., Pu Z., Wang J., Zheng Y., Li Y., Wei Y. Regulation, evolution, and functionality of flavonoids in cereal crops. *Biotechnol Lett*. 2013; 35: 1765e80.

278. Vasko N., Mykhailenko E. Anthocyanins in naked pigmented barley grain as a source of antioxidant activity. *Food Science & Nutrition Technology*. 2023. V. 8. Issue 3. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000301>

279. Panizo-Casado M., Déniz-Expósito P., Rodríguez-Galdón B., Afonso-Morales D.A., Rios-Mesa D.R., Diaz-Romero C., Rodriguez-Rodriguez E.M. The chemical composition of barley grain (*Hordeum vulgare* L.) landraces from the Canary Islands. *J. of Food Science*. 2020. V. 85(6). <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15144>

280. Rao S., Santhkumar A.B., Chinkwo K.A., Blanchard C. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley, and oats affected by variation in growing location. *Cereal Chemistry*. 2020. V. 97(7). <https://doi.org/10.1002/ccge.10291>

ДОДАТКИ

Погодні умови

Таблиця 1 – Основні показники метеорологічних умов у межах міста Харкова за даними Харківського регіонального центру з гідрометеорології, за 2023 р.

Місяць	Декада	Середня добова температура повітря, °С		Сума опадів, мм		
		2023 р.	середня багаторічна	2023 р.	середня багаторічна	% до норми
Квітень	I	11,1	7,4	14	14,2	99
	II	10,1	9,0	31	12,4	250
	III	11,6	12,3	23	8,9	258
	за місяць	10,9	9,6	68	35,5	192
Травень	I	11,7	14,9	2	13,2	15
	II	17,4	16,6	0	11,7	0
	III	18,4	16,7	31	18,8	165
	за місяць	15,8	16,1	33	43,7	76
Червень	I	19,7	19,8	3	13,4	22
	II	19,5	20,0	13	25,1	52
	III	21,3	20,7	24	24,8	97
	за місяць	20,2	20,2	39	63,3	62
Липень	I	22,4	21,0	111	19,5	569
	II	21,0	21,6	20	25,0	80
	III	22,7	21,5	22	27,2	81
	за місяць	22,0	21,4	153	71,7	213

Таблиця 2 – Основні метеорологічні показники погодних умов 2024 р. за даними Харківського регіонального центру з гідрометеорології, у межах міста Харків.

Декада	Середні багаторічні		2024 р.	
	Середня добова температура повітря, °С	Сума опадів, мм	Середня добова температура повітря, °С	Сума опадів, мм
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Квітень				
1	7,4	14,2	13,3	0
2	9,0	12,4	13,6	10,0
3	12,3	8,9	13,1	0
за місяць	9,6	35,5	13,3	10,0
Травень				
1	14,9	13,2	13,3	13,0

1	2	3	4	5
2	16,6	11,7	16,2	6,0
3	16,7	18,8	19,9	3,0
за місяць	16,1	43,7	16,5	22,0
Червень				
1	19,8	13,4	23,2	6,0
2	20,0	25,1	22,4	31,0
3	20,7	24,8	21,4	12,0
за місяць	20,2	63,3	22,3	49,0
Липень				
1	21,0	19,5	26,8	11,0
2	21,6	25,0	28,3	1,0
3	21,5	27,2	22,8	7,0
за місяць	21,4	71,7	26,0	19,0

Таблиця 3 – Основні метеорологічні показники погодних умов 2025 р. за даними Харківського регіонального центру з гідрометеорології, у межах міста Харків.

Декада	Середні багаторічні		2025 р.	
	Середня добова температура повітря, °С	Сума опадів, мм	Середня добова температура повітря, °С	Сума опадів, мм
1	2	3	4	5
Квітень				
1	7,4	14,2	7,5	24,0
2	9,0	12,4	13,0	0,4
3	12,3	8,9	14,5	0,4
за місяць	9,6	35,5	11,7	24,8
Травень				
1	14,9	13,2	13,2	21,0
2	16,6	11,7	11,7	40,0
3	16,7	18,8	20,3	3,0
за місяць	16,1	43,7	15,1	64,0
Червень				
1	19,8	13,4	22,4	12,0
2	20,0	25,1	17,5	9,0
3	20,7	24,8	17,9	15,0
за місяць	20,2	63,3	19,3	36,0
Липень				
1	21,0	19,5	23,3	12,0
2	21,6	25,0	24,5	53,0
3	21,5	27,2	24,2	79,0
за місяць	21,4	71,7	24,0	144,0

Додаток Б

Елементи продуктивності рослин ячменю та їх мінливість у залежності від генотипу та умов вирощування

Таблиця Б-1 – Елементи продуктивності рослин ячменю, 2023 р.

Зразок	Висота рослини , см	Продук- тивна ку- щистість, штук	Довжина колоса, см	Кількість зерен у колосі, штук	Щільність колоса, шт./ 4 см	Вага зерна з колоса, г	Продук- тивність, г
Явір	58	1,8	8,2	22	11	1,30	1,96
Віолет 18-1207	68	2,2	9,5	28	12	1,62	3,15
Ноем	51	1,2	5,4	27	20	1,27	1,39
CDC Alamo	55	2,4	10,1	28	11	1,37	2,63
UA 0805462	70	3,4	10,5	26	12	1,44	3,08
Авгур	64	2,8	10,0	26	10	1,87	3,58
Tercel	55	1,0	8,1	23	12	1,02	1,22
Mebere	60	2,8	8,3	23	11	1,14	3,20
CDC Lophy-1	58	2,4	8,6	27	143	1,23	2,39
UA 0800663	63	1,4	6,9	17	11	0,98	1,03
CDC Hilose	63	25,4	9,2	27	11	1,64	3,22
UA 0800645	48	2,3	5,7	16	13	0,94	1,70

Таблиця Б-2 – Елементи продуктивності рослин ячменю, 2024 р.

Зразок	Висота рослини, см	Довжина колоса, см	Кількість зерен у колосі, штук	Щільність колоса, шт./ 4 см	Продук- тивність, г
Авгур	56	8,9	24	11	1,39
UA 0800645	41	5,0	19	14	0,85
UA 0800663	55	7,3	19	10	0,93
CDC Hilose	54	9,5	22	11	1,46
CDC Alamo	55	13,0	34	10	0,81
Mebere	60	10,6	28	11	1,61
UA 0802220	56	7,1	51	12	2,07
UA 0805462	58	9,3	29	12	1,35
Віолет 18-1207	58	8,9	27	12	1,46

Таблиця Б-3 – Елементи продуктивності рослин ячменю, 2025 р.

Зразок	Висота рослини, см	Довжина колоса, см	Кількість зерен у колосі, штук	Щільність колоса, шт./ 4 см	Продук- тивність, г
Авгур	71	8,6	24	12	1,08
UA 0800645	62	5,1	22	16	1,07
UA 0800663	74	8,0	21	11	1,18
CDC Hilose	81	10,0	31	11	1,52
CDC Alamo	78	11,2	30	12	1,74
Mebere	78	9,3	25	11	1,48
UA 0805462	85	9,8	29	12	1,63
Віолет 18-1207	83	8,7	29	13	1,70
SGI 7024	89	10,9	31	11	1,68
Гордій	78	9,1	26	11	1,75
Ноем	80	5,8	46	12	1,61

Таблиця Б-4 – Мінливість висоти рослин ячменю в залежності від генотипу та умов вирощування

Зразок	Висота рослин за роками, см			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє за сортами
Авгур	64	56	71	64
UA 0800645	48	41	62	50
UA 0800663	63	55	74	64
CDC Hilose	63	54	81	66
CDC Alamo	55	55	78	63
Mebere	60	69	78	69
UA 0805462	70	58	85	71
Віолет 18-1207	68	58	83	70
Середнє за роками	61	56	77	65

Таблиця Б-5 – Мінливість довжини колоса ячменю в залежності від генотипу та умов вирощування

Зразок	Довжина колоса за роками, см			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє за сортами
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Авгур	10,0	8,9	8,6	9,2
UA 0800645	5,7	5,0	5,1	5,3
UA 0800663	6,9	7,3	8,0	7,4
CDC Hilose	9,2	9,5	10,0	9,6

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
CDC Alamo	10,1	13,0	11,2	11,4
Mebere	8,3	10,6	9,3	9,4
UA 0805462	10,5	9,3	9,8	9,9
Віолет 18-1207	9,5	8,9	8,7	9,0
Середнє за роками	8,8	9,1	8,8	8,9

Таблиця Б-6 – Мінливість кількості зернівок у колосі в залежності від генотипу та умов вирощування

Зразок	Кількість зернівок у колосі за роками, штук			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє за сортами
Авгур	26	24	24	25
UA 0800645	16	19	22	19
UA 0800663	17	19	21	19
CDC Hilose	27	22	31	27
CDC Alamo	28	34	30	31
Mebere	23	28	25	25
UA 0805462	26	29	29	28
Віолет 18-1207	28	27	29	28
Середнє за роками	24	25	26	25

Таблиця Б-7 – Мінливість щільності колоса в залежності від генотипу та умов вирощування

Зразок	Щільність колоса, члеників на 4 см, штук			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє за сортами
Авгур	10	11	12	11
UA 0800645	13	14	16	14
UA 0800663	11	10	11	11
CDC Hilose	11	11	11	11
CDC Alamo	11	10	12	11
Mebere	11	11	11	11
UA 0805462	12	12	12	12
Віолет 18-1207	12	12	13	12
Середнє за роками	11	11	12	12

Таблиця Б-7 – Мінливість маси 1000 зерен в залежності від генотипу та умов вирощування

Зразок	Вага зерна з колоса за роками, г			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє за сортами
Авгур	50,0	49,5	50,6	50,0
UA 0800645	44,2	43,9	44,9	44,3
UA 0800663	45,9	45,6	46,4	46,0
CDC Hilose	47,2	45,8	49,3	47,4
CDC Alamo	46,7	45,7	47,2	46,5
Mebere	43,0	42,7	44,2	43,3
UA 0805462	41,3	40,5	42,4	41,4
Віолет 18-1207	38,2	36,7	39,3	38,1
Середнє за роками	44,6	43,4	45,5	44,6

Таблиця Б-8 – Мінливість ваги зерна з колоса в залежності від генотипу та умов вирощування

Зразок	Вага зерна з колоса за роками, г			
	2023 р.	2024 р.	2025 р.	Середнє за сортами
Авгур	1,87	1,39	1,08	1,45
UA 0800645	0,94	0,85	1,07	0,95
UA 0800663	0,98	0,93	1,18	1,03
CDC Hilose	1,64	1,46	1,52	1,54
CDC Alamo	1,37	0,81	1,74	1,31
Mebere	1,14	1,61	1,48	1,41
UA 0805462	1,44	1,35	1,63	1,47
Віолет 18-1207	1,62	1,46	1,70	1,59
Середнє за роками	1,38	1,23	1,43	1,34

Додаток В

Результати дисперсійного аналізу та апостеріорного порівняння мінливості продуктивності та інших кількісних ознак голозерного ячменю

Таблиця В-1 Апостеріорне порівняння висоти рослин батьківських компонентів (LSD test; Homogenous Groups, $\alpha = ,05000$ Error: Between MS = 86,657, df = 27,000)

Лінія, колекційний зразок	Середнє значення, см	a	b
UA 0800645	50,25000		****
CDC Alamo	62,75000	****	****
Авгур	63,75000	****	****
UA 0800663	64,00000	****	
Середнє	64,75000	****	
CDC Hilose	66,00000	****	
Meberе	69,00000	****	
Віолет 18-1207	69,75000	****	
UA 0805462	71,00000	****	

Таблиця В-2 Апостеріорне порівняння довжини колоса рослин батьківських компонентів у залежності від умов вирощування

	Ступені свободи	SS	MS	F	p
Вільний член	1	2848,001	2848,001	7390,296	0,000000
Сорт	8	94,054	11,757	30,508	0,000000
Помилка	27	10,405	0,385		
Загальне	35	104,459			

Примітка. Курсивом виділено істотні відмінності.

Сорт, зразок	Довжина колоса, см	Групи за довжиною колоса				
		a	b	c	d	e
UA 0800645	5,27500			****		
UA 0800663	7,40000				****	
Середнє	8,90000	****				
Віолет 18-1207	9,02500	****	****			
Авгур	9,17500	****	****			
Meberе	9,40000	****	****			
CDC Hilose	9,57500	****	****			
UA 0805462	9,87500		****			
CDC Alamo	11,42500					****

Таблиця В-3 Апостеріорне порівняння кількості зерен у колосі у батьківських компонентів ячменю

	Ступені свободи	SS	MS	F	p
Вільний член	<i>1</i>	<i>2848,001</i>	<i>22801,00</i>	<i>5546,189</i>	<i>0,000000</i>
Сорт	8	<i>504,00</i>	<i>63,00</i>	<i>15,324</i>	<i>0,000000</i>
Помилка	27	111,00	4,11		

Примітка. Курсивом виділено істотні відмінності.

Сорт, зразок	Кількість зерен у колосі	Групи за кількістю зерен у колосі			
		a	b	c	d
UA 0800645	19,00000				****
UA 0800663	19,00000				****
Авгур	24,75000	****			
Середнє	25,00000	****			
Mebere	25,25000	****	****		
CDC Hilose	26,75000	****	****		
Віолет 18-1207	28,00000		****	****	
UA 0805462	28,00000		****	****	
CDC Alamo	30,75000			****	

За кількістю зерен у колосі в залежності від року істотні відмінності відсутні

Таблиця В-4 Апостеріорне порівняння щільності колоса батьківських компонентів ячменю

	SS	Ступені свободи	MS	F	p
Вільний член	<i>4876,694</i>	<i>1</i>	<i>4876,694</i>	<i>11704,07</i>	<i>0,000000</i>
Сорт	<i>39,056</i>	8	<i>4,882</i>	<i>11,72</i>	<i>0,000001</i>
Помилка	11,250	27	0,417		

Примітка. Курсивом виділено істотні відмінності.

Сорт, зразок	Щільність колоса, члеників на 4 см, штук	Групи за щільністю колоса		
		a	b	c
UA 0800663	10,75000	****		
Mebere	11,00000	****		
Авгур	11,00000	****		
CDC Hilose	11,00000	****		
CDC Alamo	11,00000	****		
Середнє	11,50000	****	****	
UA 0805462	12,00000		****	
Віолет 18-1207	12,25000		****	
UA 0800645	14,25000			****

За щільність колоса істотні відмінності в залежності від року відсутні

Таблиця В-5 Апостеріорне порівняння маси 1000 зернівок батьківських компонентів ячменю

	SS	Ступені свободи	MS	F	p
Вільний член	<i>47811,23</i>	<i>1</i>	<i>47811,23</i>	<i>49933,40</i>	<i>0,000000</i>
Сорт	<i>293,49</i>	<i>7</i>	<i>41,93</i>	<i>43,79</i>	<i>0,000000</i>
Помилка	<i>15,32</i>	<i>16</i>	<i>0,96</i>		

Примітка. Курсивом виділено істотні відмінності.

Сорт, зразок	Маса 1000 зернівок, г	Групи за масою 1000 зернівок					
		a	b	c	d	e	f
Віолет 18-1207	38,06667				****		
UA 0805462	41,40000					****	
Mebere	43,30000		****				
UA 0800645	44,33333		****	****			
UA 0800663	45,96667	****		****			
CDC Alamo	46,53333	****					
CDC Hilose	47,43333	****					
Авгур	50,03333						****

Таблиця В-6 Апостеріорне порівняння ваги зерна з колоса батьківських компонентів ячменю

	SS	Ступені свободи	MS	F	p
Вільний член	<i>65,04423</i>	<i>1</i>	<i>65,04423</i>	<i>1685,609</i>	<i>0,000000</i>
Сорт	<i>1,53980</i>	<i>8</i>	<i>0,19248</i>	<i>4,988</i>	<i>0,000723</i>
Помилка	<i>1,04188</i>	<i>27</i>	<i>0,03859</i>		

Примітка. Курсивом виділено істотні відмінності.

Сорт	Вага зерна з колоса, г	Групи за вагою зерна з колоса		
		a	b	c
UA 0800645	0,952500		****	
UA 0800663	1,030000		****	****
CDC Alamo	1,307500	****		****
Середнє	1,345000	****		
Mebere	1,410000	****		
Авгур	1,447500	****		
UA 0805462	1,472500	****		
CDC Hilose	1,540000	****		
Віолет 18-1207	1,592500	****		

Додаток Г

Таблиця Г-1 – Тип взаємодії генів у гібридних комбінаціях, ступінь домінантності та гетерозису у F₁ ячменю, 2023 р.

P, F ₁	Ознака	Значення ознаки			h _p	Тип успадкування	H _{bt} , %
		F ₁	M _p	P _{max}			
1	2	3	4	5	6	7	8
Віолет 18-1207 / Mebere	Висота рослини	63	64	68	-0,25	проміжне успадкування	-7,4
	Продуктивна кущистість	1,8	2,5	2,8	-2,33	депресія	-35,7
	Довжина колоса	9,8	8,9	9,5	1,5	гетерозис	31,6
	Кількість зерен у колосі	26	26	28	0	проміжне успадкування	-7,1
	Вага зерна з колоса	1,52	1,37	1,62	0,6	позитивне домінування	-6,2
	Щільність	11	12	12	–	–	-8,3
Віолет 18-1207 / Явір	Висота рослини	63	63	68	0	проміжне успадкування	–
	Продуктивна кущистість	2,0	2,0	2,2	0	проміжне успадкування	–
	Довжина колоса	9,4	8,6	9,5	0,9	позитивне домінування	-1,1
	Кількість зерен у колосі	24	25	28	-0,3	проміжне успадкування	-14,3
	Вага зерна з колоса	1,47	1,46	1,62	0,06	проміжне успадкування	-9,32
	Щільність	12	12	12	–	–	–
Віолет 18-1207 / CDC Hilose	Висота рослини	70	66	68	2,0	гетерозис	2,9
	Продуктивна кущистість	2,8	2,3	2,4	5,0	гетерозис	16,7
	Довжина колоса	10,5	9,4	9,5	11,0	гетерозис	10,5
	Кількість зерен у колосі	31	27	28	4,0	гетерозис	10,7
	Вага зерна з колоса	2,18	1,63	1,64	55,0	гетерозис	32,9
	Щільність	12	12	12	–	–	–
UA 0800645 / CDC Alamo	Висота рослини	48	47	55	0,13	проміжне успадкування	-12,7
	Продуктивна кущистість	2,3	1,9	2,4	0,8	позитивне домінування	-4,2
	Довжина колоса	5,7	7,4	10,1	-0,6	негативне домінування	-43,6
	Кількість зерен у колосі	16	22	27	-1,2	депресія	-40,7
	Вага зерна з колоса	0,4	1,25	1,37	-7,1	депресія	-70,8
	Щільність	13	13	14	0	проміжне успадкування	-7,1

1	2	3	4	5	6	7	8
Віолет 18-1207 / SGI 7024	Висота рослини	78	67	68	12,0	гетерозис	14,7
	Продуктивна кущистість	2,0	2,2	2,2	—	—	-9,1
	Довжина колоса	12,4	9,0	9,5	6,8	гетерозис	30,5
	Кількість зерен у колосі	32	26	28	3,0	гетерозис	14,3
	Вага зерна з колоса	1,64	1,47	1,62	1,13	гетерозис	1,2
	Щільність	11	12	12	—	—	-8,3
Mebere / Явір	Висота рослини	69	59	60	10,0	гетерозис	15,0
	Продуктивна кущистість	2,8	2,3	2,8	1,0	позитивне домінування	—
	Довжина колоса	11,4	8,2	8,3	32,0	гетерозис	37,3
	Кількість зерен у колосі	27	23	23	0	проміжне успадкування	17,4
	Вага зерна з колоса	1,60	1,22	1,30	4,75	гетерозис	23,1
	Щільність	11	11	11	—	—	—
UA 0805462 / SGI 7024	Висота рослини	69	69	72	0	проміжне успадкування	-4,2
	Продуктивна кущистість	3,0	2,7	3,2	0,6	позитивне домінування	-6,3
	Довжина колоса	10,3	8,8	9,1	5,0	гетерозис	13,2
	Кількість зерен у колосі	29	25	26	4,0	гетерозис	11,5
	Вага зерна з колоса	1,75	1,35	1,38	13,3	гетерозис	26,8
	Щільність	11	12	12	—	—	-8,3
UA 0800645 / Явір	Висота рослини	59	49	58	1,1	гетерозис	1,7
	Продуктивна кущистість	2,8	1,6	1,8	6,0	гетерозис	55,6
	Довжина колоса	9,6	6,5	8,2	1,8	гетерозис	17,1
	Кількість зерен у колосі	22	19	22	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,46	1,20	1,30	2,6	гетерозис	12,3
	Щільність	10	13	14	-3,0	депресія	-21,4
UA 0805462 / UA 0800663	Висота рослини	53	68	72	-3,8	депресія	-26,4
	Продуктивна кущистість	2,4	2,3	3,2	0,1	проміжне успадкування	-25,0
	Довжина колоса	9,4	8,0	9,1	1,6	гетерозис	3,3
	Кількість зерен у колосі	24	22	26	0,5	проміжне успадкування	-7,7
	Вага зерна з колоса	1,02	1,18	1,38	-0,8	негативне домінування	-26,1
	Щільність	11	12	12	—	—	-8,3

1	2	3	4	5	6	7	8
Hoem / SGI 7024	Висота рослини	71	58	65	1,9	гетерозис	9,2
	Продуктивна кущистість	3,4	1,7	2,2	3,4	гетерозис	54,5
	Довжина колоса	10,3	7,0	8,5	2,2	гетерозис	21,2
	Кількість зерен у колосі	30	26	27	4,0	гетерозис	11,1
	Вага зерна з колоса	1,99	1,30	1,32	34,5	гетерозис	50,8
	Щільність	12	16	20	-1,0	негативне домінування	-0,4
UA 0800663 / Віолет 18-1207	Висота рослини	68	66	68	1,0	позитивне домінування	—
	Продуктивна кущистість	2,4	1,8	2,2	1,5	гетерозис	9,1
	Довжина колоса	9,9	8,2	9,5	1,3	гетерозис	4,2
	Кількість зерен у колосі	25	23	28	0,4	проміжне успадкування	-10,7
	Вага зерна з колоса	1,46	1,30	1,62	0,5	проміжне успадкування	-9,9
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	-8,3
UA 0800663 / SGI 7024	Висота рослини	69	64	65	5,0	гетерозис	6,2
	Продуктивна кущистість	2,3	1,8	2,2	1,25	гетерозис	4,5
	Довжина колоса	9,8	7,7	8,4	3,0	гетерозис	16,7
	Кількість зерен у колосі	21	21	24	0	проміжне успадкування	-12,5
	Вага зерна з колоса	1,38	1,15	1,32	1,4	гетерозис	4,5
	Щільність	10	12	12	—	депресія	-16,7
Hoem / CDC Hilose	Висота рослини	67	57	63	1,7	гетерозис	6,3
	Продуктивна кущистість	3,0	1,8	2,4	2,0	гетерозис	25,0
	Довжина колоса	6,8	7,3	9,2	-0,3	проміжне успадкування	-26,1
	Кількість зерен у колосі	17	27	27	—	депресія	-37,0
	Вага зерна з колоса	1,20	1,46	1,64	-2,4	депресія	-26,8
	Щільність	12	20	20	—	депресія	-40,0

Таблиця Г-2 – Тип взаємодії генів у гібридних комбінаціях, ступінь домінантності та гетерозису у F₁ ячменю, 2024 р.

Р, F ₁	Ознака	Значення ознаки			h _p	Тип успадкування	H _{bt} , %
		F ₁	M _p	P _{max}			
1	2	3	4	5	6	7	8
Віолет 18-1207 / UA 0800663	Висота рослини	50	57	58	-7	депресія	-13,8
	Довжина колоса	9,0	8,1	8,9	1,1	гетерозис	1,12
	Кількість зерен у колосі	26	23	27	0,8	позитивне домінування	–
	Вага зерна з колоса	1,57	1,20	1,46	1,4	гетерозис	7,5
	Щільність	12	11	12	1,0	позитивне домінування	–
Віолет 18-1207 / CDC Alamo	Висота рослини	47	57	58	-10,0	депресія	-19,0
	Довжина колоса	7,5	11,0	13,0	-1,8	депресія	-42,0
	Кількість зерен у колосі	21	31	34	-3,3	депресія	-38,2
	Вага зерна з колоса	1,02	1,41	1,46	-7,8	депресія	-30,1
	Щільність	12	11	12	1,0	позитивне домінування	–
UA 0802220 / UA 0800663	Висота рослини	58	56	56	2,0	гетерозис	3,6
	Довжина колоса	8,8	7,2	7,3	16,0	гетерозис	20,5
	Кількість зерен у колосі	24	35	50	-0,7	негативне домінування	–
	Вага зерна з колоса	1,6	1,50	2,07	0,2	проміжне успадкування	–
	Щільність	12	11	12	1,0	позитивне домінування	–
Віолет 18-1207 / Ахіллес	Висота рослини	57	58	58	0	проміжне успадкування	–
	Довжина колоса	8,8	8,6	8,9	0,7	позитивне домінування	–
	Кількість зерен у колосі	26	25	27	0,5	проміжне успадкування	–
	Вага зерна з колоса	1,60	1,38	1,46	2,8	гетерозис	9,6
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	–
UA 0802220 / Віолет 18-1207	Висота рослини	61	57	58	4,0	гетерозис	5,2
	Довжина колоса	8,2	8,0	8,1	2,0	гетерозис	1,2

1	2	3	4	5	6	7	8
	Кількість зерен у колосі	22	39	50	-1,5	депресія	-56,0
	Вага зерна з колоса	1,28	1,77	2,07	-1,6	депресія	-38,2
	Щільність	10	12	12	0	проміжне успадкування	—
CDC Hilose / Віолет 18-1207	Висота рослини	61	56	58	5,0	гетерозис	5,2
	Довжина колоса	10,8	9,2	9,5	5,3	гетерозис	13,7
	Кількість зерен у колосі	29	24	27	1,7	гетерозис	7,4
	Вага зерна з колоса	1,77	1,46	1,46	1,2	гетерозис	21,2
	Щільність	11	12	12	-1,0	негативне домінування	—
UA 0802220 / Авгур	Висота рослини	45	57	57	-0,8	негативне домінування	—
	Довжина колоса	7,0	8,0	8,9	-1,1	депресія	-21,3
	Кількість зерен у колосі	18	37	50	-1,5	депресія	-64,0
	Вага зерна з колоса	0,98	1,73	2,07	-2,2	депресія	-52,7
	Щільність	11	12	12	-1,0	негативне домінування	—
Віолет 18-1207 / SGI 7024	Висота рослини	45	58	58	-0,8	негативне домінування	—
	Довжина колоса	8,9	8,6	8,9	1,0	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	25	24	27	0,3	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,23	1,38	1,46	-0,2	проміжне успадкування	—
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
Mebere / Ноем	Висота рослини	55	56	60	-0,3	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	9,3	8,0	10,6	0,5	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	22	28	28	-0,8	негативне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,82	1,44	1,61	2,2	гетерозис	13,0
	Щільність	10	11	11	-1,0	негативне домінування	—
UA 0800663 / CDC Alamo	Висота рослини	54	55	55	-1,0	негативне домінування	—
	Довжина колоса	8,5	10,2	13,0	-0,6	негативне домінування	—

1	2	3	4	5	6	7	8
	Кількість зерен у колосі	20	27	34	-1,0	негативне домінування	—
	Вага зерна з колоса	0,88	1,15	1,36	-1,3	депресія	-35,3
	Щільність	10	10	10	0	проміжне успадкування	—
Mebere / CDC Alamo	Висота рослини	64	58	60	3,0	гетерозис	6,7
	Довжина колоса	11,7	11,8	13,0	-0,1	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	29	31	34	-0,7	негативне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,60	1,49	1,61	0,9	позитивне домінування	—
	Щільність	10	11	11	0	проміжне успадкування	—
CDC Alamo / Віолет 18-1207	Висота рослини	55	57	58	-2,0	депресія	-5,2
	Довжина колоса	8,2	11,0	13,0	-0,9	негативне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	25	31	34	-2,0	депресія	-26,5
	Вага зерна з колоса	1,33	1,41	1,46	-1,6	депресія	-8,9
	Щільність	12	11	12	1,0	позитивне домінування	—
Mebere / Ноем	Висота рослини	61	56	60	1,25	гетерозис	1,7
	Довжина колоса	9,3	8,0	10,6	0,5	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	25	28	28	-3,0	депресія	-10,7
	Вага зерна з колоса	1,44	1,44	1,61	0	проміжне успадкування	—
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
Mebere / UA 0800663	Висота рослини	61	58	60	1,5	гетерозис	1,7
	Довжина колоса	10,6	9,0	10,6	1,0	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	26	24	28	0,5	проміжне успадкування	—
	Вага	1,55	1,27	1,61	0,8	позитивне домінування	—
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
CDC Alamo / Віолет 18-1207	Висота рослини	48	57	58	-9,0	депресія	-17,2

1	2	3	4	5	6	7	8
	Довжина колоса	9,6	11,0	13,0	-0,7	негативне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	25	31	34	-2,0	депресія	-17,6
	Вага зерна з колоса	1,38	1,41	1,46	-0,6	негативне домінування	—
	Щільність	11	11	12	0	проміжне успадкування	—
CDC Alamo / UA 0802220	Висота рослини	52	56	56	-4,0	депресія	-7,1
	Довжина колоса	8,9	10,1	13,0	-0,4	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	26	42	50	-2,0	депресія	-48,0
	Вага зерна з колоса	1,65	1,72	2,07	-0,2	проміжне успадкування	—
	Щільність	12	11	12	1,0	позитивне домінування	—
UA 0805462 / UA 0800663	Висота рослини	52	57	58	-5,0	депресія	-10,3
	Довжина колоса	8,5	8,3	9,3	0,2	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	23	24	29	-0,2	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	0,99	1,14	1,35	-0,7	негативне домінування	—
	Щільність	11	11	12	0	проміжне успадкування	—
Mebere / Авгур	Висота рослини	55	59	60	-4,0	депресія	-8,3
	Довжина колоса	10,3	9,8	10,6	0,6	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	26	26	28	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,48	1,50	1,61	-0,2	проміжне успадкування	—
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / CDC Alamo	Висота рослини	46	57	58	-11,0	депресія	-20,7
	Довжина колоса	8,5	11,2	13,0	-1,5	депресія	-34,6
	Кількість зерен у колосі	22	32	34	-5,0	депресія	-35,3
	Вага зерна з колоса	1,46	1,36	1,36	1,1	гетерозис	7,4
	Щільність	11	11	12	0	проміжне успадкування	—
CDC Hilose / Авгур	Висота рослини	54	56	57	-2,0	депресія	-5,3
	Довжина колоса	9,2	9,2	9,5	0	проміжне	—

1	2	3	4	5	6	7	8
						успадкування	
	Кількість зерен у колосі	24	23	24	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,54	1,40	1,46	2,3	гетерозис	5,5
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
CDC Hilose / UA 0800663	Висота рослини	46	55	55	-1,2	депресія	-16,4
	Довжина колоса	6,8	8,4	9,5	-1,45	депресія	-28,4
	Кількість зерен у колосі	18	21	22	-3,0	депресія	-18,2
	Вага зерна з колоса	0,88	1,20	1,46	-1,2	депресія	-39,7
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
Mebere / Віолет 18- 1207	Висота рослини	48	59	60	-11,0	депресія	-20,0
	Довжина колоса	5,5	9,8	10,6	-5,4	депресія	-48,1
	Кількість зерен у колосі	18	28	28	-1,56	депресія	-35,7
	Вага зерна з колоса	1,45	1,54	1,61	-1,3	депресія	-9,98
	Щільність	12	11	12	1,0	позитивне домінування	—
CDC Hilose / UA 0800663	Висота рослини	47	55	55	-1,2	депресія	-14,5
	Довжина колоса	8,1	8,4	9,5	-0,3	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	22	21	22	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,05	1,20	1,46	-0,6	негативне домінування	—
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / Віолет 18- 1207	Висота рослини	56	58	58	-1,0	негативне домінування	—
	Довжина колоса	9,5	9,1	9,3	2,0	гетерозис	2,2
	Кількість зерен у колосі	24	28	29	-4,0	депресія	-17,2
	Вага зерна з колоса	1,34	1,41	1,46	-1,4	депресія	-8,2
	Щільність	11	12	12	-1,0	негативне домінування	—
UA 0800645 / CDC Alamo	Висота рослини	49	48	55	0,14	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	8,8	9,0	13,0	-0,05	проміжне успадкування	—

1	2	3	4	5	6	7	8
	Кількість зерен у колосі	22	27	34	-0,7	негативне домінування	–
	Вага зерна з колоса	0,80	1,11	1,36	-1,2	депресія	-41,2
	Щільність	10	12	14	-1,0	негативне домінування	–
UA 0800645 / UA 0800663	Висота рослини	57	48	55	1,3	гетерозис	3,6
	Довжина колоса	8,0	6,2	7,3	1,6	гетерозис	9,6
	Кількість зерен у колосі	21	19	19	1,1	гетерозис	10,5
	Вага зерна з колоса	1,13	0,89	0,93	6,0	гетерозис	21,5
	Щільність	10	12	14	-1,0	негативне домінування	–
Mebere / UA 0800663	Висота рослини	62	58	60	2,0	гетерозис	3,33
	Довжина колоса	8,3	9,0	10,6	-1,4	депресія	-21,7
	Кількість зерен у колосі	20	24	28	-1,0	негативне домінування	–
	Вага зерна з колоса	1,28	1,27	1,61	-0,9	негативне домінування	–
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	–
UA 0800663 / Біолет 18-1207	Висота рослини	59	57	58	2,0	гетерозис	1,7
	Довжина колоса	9,3	8,1	8,9	1,5	гетерозис	4,5
	Кількість зерен у колосі	27	23	27	1,0	позитивне домінування	–
	Вага зерна з колоса	1,60	1,20	1,46	1,53	гетерозис	9,6
	Щільність	13	11	12	2,0	гетерозис	8,3

Таблиця Г-3 – Тип взаємодії генів у гібридних комбінаціях, ступінь домінантності та гетерозису у F₁ ячменю, 2025 р.

P, F ₁	Ознака	Значення ознаки			h _p	Тип успадкування	H _{bt} , %
		F ₁	M _p	P _{max}			
1	2	3	4	5	6	7	8
UA 0800663 / UA 0805462	Висота рослини	82	80	85	0,4	проміжне успадкування	–
	Довжина колоса	8,9	8,9	9,8	0	проміжне успадкування	–
	Кількість зерен у колосі	24	25	29	-0,25	проміжне успадкування	–
	Вага зерна з колоса	1,31	1,41	1,63	-0,45	проміжне успадкування	–
	Щільність	11	12	12	-1,0	негативне	–

1	2	3	4	5	6	7	8
						домінування	
UA 0805462 / UA 0800663	Висота рослини	81	80	85	0,20	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	8,5	8,9	9,8	-0,44	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	24	25	29	-0,25	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,03	1,41	1,63	-1,73	депресія	-36,8
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
UA 0800663 / UA 0800645	Висота рослини	81	68	74	2,17	гетерозис	9,5
	Довжина колоса	7,4	6,6	8,0	0,57	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	19	21	22	-2,0	депресія	-13,6
	Вага зерна з колоса	1,08	1,12	1,18	-0,67	негативне домінування	—
	Щільність	10	14	16	-2,0	депресія	-37,5
UA 0800645 / UA 0800663	Висота рослини	81	68	74	2,17	гетерозис	9,5
	Довжина колоса	7,1	6,6	8,0	0,36	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	22	21	22	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,12	1,12	1,18	0	проміжне успадкування	—
	Щільність	12	14	16	-1,0	негативне домінування	—
UA 0800663 / Віолет 18- 1207	Висота рослини	74	78	83	-0,8	негативне домінування	—
	Довжина колоса	7,6	8,4	8,7	-2,67	депресія	-14,9
	Кількість зерен у колосі	21	25	29	-1,0	негативне домінування	—
	Вага зерна з колоса	0,89	1,44	1,70	-9,42	депресія	-47,6
	Щільність	12	12	13	0	проміжне успадкування	—
Віолет 18- 1207 / UA 0800663	Висота рослини	86	78	83	1,6	гетерозис	3,6
	Довжина колоса	8,3	8,4	8,7	-0,33	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	26	25	29	0,25	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	2,97	1,44	1,70	5,88	гетерозис	74,7
	Щільність	12	12	13	0	проміжне	—

1	2	3	4	5	6	7	8
						успадкування	
UA 0800663 / SGI 7024	Висота рослини	85	82	89	0,43	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	9,3	9,5	10,9	-0,14	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	26	26	31	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	2,04	1,43	1,68	2,44	гетерозис	21,4
	Щільність	12	11	11	0	проміжне успадкування	—
SGI 7024 / UA 0800663	Висота рослини	83	82	89	0,14	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	8,1	9,5	10,9	-1,0	негативне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	23	26	31	-0,6	негативне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,28	1,43	1,68	-0,6	негативне домінування	—
	Щільність	12	11	11	0	проміжне успадкування	—
UA 0800663 / Гордій	Висота рослини	83	76	78	3,5	гетерозис	6,41
	Довжина колоса	9,4	8,6	9,1	1,6	гетерозис	3,30
	Кількість зерен у колосі	24	24	26	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,92	1,47	1,75	1,61	гетерозис	9,71
	Щільність	12	11	11	0	проміжне успадкування	—
Гордій / UA 0800663	Висота рослини	87	76	78	4,5	гетерозис	11,5
	Довжина колоса	9,7	8,6	9,1	1,8	гетерозис	6,59
	Кількість зерен у колосі	27	24	26	1,5	гетерозис	3,85
	Вага зерна з колоса	1,76	1,47	1,75	1,04	гетерозис	0,57
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / UA 0800645	Висота рослини	87	74	85	0,64	позитивне домінування	—
	Довжина колоса	9,5	7,5	9,8	0,87	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	27	26	29	0,33	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,40	1,35	1,63	0,18	проміжне успадкування	—
	Щільність	12	14	16	1,0	позитивне домінування	—
UA 0800645 /	Висота рослини	84	74	85	0,91	позитивне	—

1	2	3	4	5	6	7	8
UA 0805462						домінування	
	Довжина колоса	9,8	7,5	9,8	1,0	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	27	26	29	0,33	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,55	1,35	1,63	0,71	позитивне домінування	—
	Щільність	12	14	16	-1,0	негативне домінування	—
UA 0805462 / Віолет 18- 1207	Висота рослини	95	84	85	11,0	гетерозис	11,8
	Довжина колоса	11,3	9,3	9,8	4,0	гетерозис	15,3
	Кількість зерен у колосі	32	29	30	3,0	гетерозис	6,7
	Вага зерна з колоса	1,21	1,67	1,70	-15,3	депресія	-28,8
	Щільність	12	13	13	0	проміжне успадкування	—
Віолет 18- 1207 / UA 0805462	Висота рослини	85	84	85	1,0	позитивне домінування	—
	Довжина колоса	9,3	9,3	9,8	0	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	29	29	30	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,39	1,67	1,70	-9,33	депресія	-18,2
	Щільність	12	13	13	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / SGI 7024	Висота рослини	86	87	89	-0,33	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	9,2	10,4	10,9	-3,4	депресія	-15,6
	Кількість зерен у колосі	27	30	31	-3,0	депресія	-12,9
	Вага зерна з колоса	1,56	1,66	1,68	-5,0	депресія	-7,14
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
SGI 7024 / UA 0805462	Висота рослини	78	87	89	-4,5	депресія	-12,4
	Довжина колоса	8,5	10,4	10,9	-2,4	депресія	-22,0
	Кількість зерен у колосі	22	30	31	-8,0	депресія	-29,0
	Вага зерна з колоса	1,80	1,66	1,68	7,0	гетерозис	7,14
	Щільність	10	12	12	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / Гордій	Висота рослини	74	82	85	-2,67	депресія	-12,9

1	2	3	4	5	6	7	8
	Довжина колоса	8,6	9,5	9,8	-3,0	депресія	-12,4
	Кількість зерен у колосі	25	28	29	-3,0	депресія	-13,8
	Вага зерна з колоса	1,50	1,69	1,75	-3,17	депресія	-14,3
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
Гордій / UA 0805462	Висота рослини	85	82	85	1,0	позитивне домінування	—
	Довжина колоса	10,0	9,5	9,8	1,67	гетерозис	2,0
	Кількість зерен у колосі	29	28	29	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,66	1,69	1,75	-0,5	проміжне успадкування	—
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	—
UA 0800645 / Віолет 18-1207	Висота рослини	84	73	83	1,1	гетерозис	1,2
	Довжина колоса	8,8	6,9	8,7	1,06	гетерозис	1,15
	Кількість зерен у колосі	27	26	29	0,33	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,61	1,39	1,70	0,71	позитивне домінування	—
	Щільність	13	15	16	-2,0	депресія	-18,8
Віолет 18-1207 / UA 0800645	Висота рослини	76	73	83	0,3	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	7,9	6,9	8,7	0,56	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	25	26	29	0,33	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,53	1,39	1,70	0,45	проміжне успадкування	—
	Щільність	14	15	16	-1,0	негативне домінування	—
UA 0800645 / SGI 7024	Висота рослини	58	76	89	-1,38	депресія	-34,8
	Довжина колоса	5,8	8,0	10,9	-0,76	негативне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	19	27	31	-2,0	депресія	-38,7
	Вага зерна з колоса	0,87	1,38	1,68	-1,7	депресія	-48,2
	Щільність	13	14	16	-0,5	негативне домінування	—
SGI 7024 / UA 0800645	Висота рослини	65	76	89	-0,84	негативне домінування	—
	Довжина колоса	6,3	8,0	10,9	-0,59	негативне домінування	—

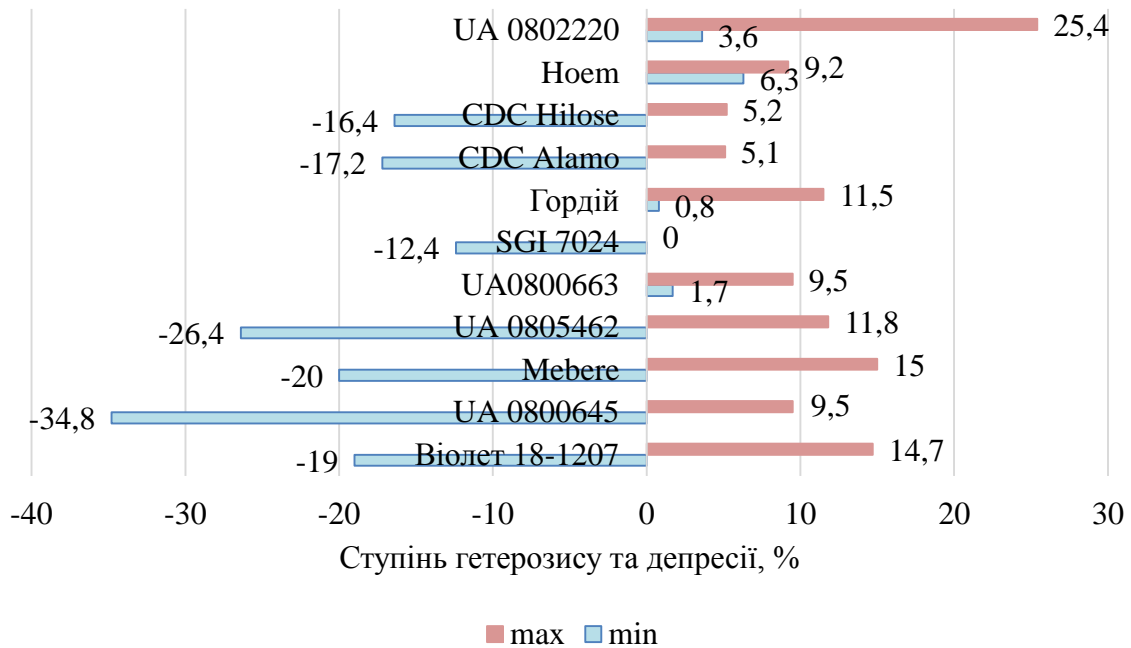
1	2	3	4	5	6	7	8
	Кількість зерен у колосі	20	27	31	-1,75	депресія	-35,5
	Вага зерна з колоса	1,07	1,38	1,68	-1,03	депресія	-36,6
	Щільність	13	14	16	-0,5	негативне домінування	—
UA 0800645 / Гордій	Висота рослини	76	70	78	0,75	позитивне домінування	—
	Довжина колоса	8,8	7,1	9,1	0,85	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	25	24	26	0,5	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,81	1,41	1,75	1,18	гетерозис	3,4
	Щільність	12	14	16	-1,0	негативне домінування	—
Гордій / UA 0800645	Висота рослини	84	70	78	1,75	гетерозис	7,7
	Довжина колоса	11,5	7,1	9,1	2,2	гетерозис	26,4
	Кількість зерен у колосі	29	24	26	5,0	гетерозис	11,5
	Вага зерна з колоса	1,27	1,41	1,75	-0,41	проміжне успадкування	—
	Щільність	11	14	16	-1,5	депресія	-31,3
Віолет 18-1207 / SGI 7024	Висота рослини	83	86	89	-1,0	негативне домінування	—
	Довжина колоса	9,3	9,8	10,9	-0,45	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	28	30	31	-2,0	депресія	-9,7
	Вага зерна з колоса	1,61	1,69	1,70	-8,0	депресія	-5,3
	Щільність	11	12	13	-1,0	негативне домінування	—
SGI 7024 / Віолет 18-1207	Висота рослини	85	86	89	-0,33	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	9,5	9,8	10,9	-0,27	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	30	30	31	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	2,01	1,69	1,70	32	гетерозис	18,2
	Щільність	12	12	13	0	проміжне успадкування	—
Віолет 18-1207 / Гордій	Висота рослини	84	81	83	1,5	гетерозис	1,20
	Довжина колоса	9,4	8,9	9,1	2,5	гетерозис	3,3
	Кількість зерен у	28	28	29	0	проміжне	—

1	2	3	4	5	6	7	8
	колосі					успадкування	
	Вага зерна з колоса	1,55	1,73	1,75	-9,0	депресія	-11,4
	Щільність	11	12	13	-1,0	негативне домінування	—
Гордій / Віолет 18- 1207	Висота рослини	87	81	83	3,0	гетерозис	4,8
	Довжина колоса	9,8	8,9	9,1	4,5	гетерозис	7,7
	Кількість зерен у колосі	29	28	29	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,76	1,73	1,75	1,5	гетерозис	0,6
	Щільність	12	12	13	0	проміжне успадкування	—
SGI 7024 / Гордій	Висота рослини	86	84	89	0,4	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	8,8	10,0	10,9	-1,33	депресія	-19,3
	Кількість зерен у колосі	24	29	31	-2,5	депресія	-22,6
	Вага зерна з колоса	1,70	1,72	1,75	-0,67	негативне домінування	—
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
CDC Alamo / Авгур	Висота рослини	82	75	78	2,33	гетерозис	5,1
	Довжина колоса	11,2	9,9	11,2	0	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	30	27	30	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,15	1,28	1,74	-1,28	депресія	-33,9
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	—
CDC Alamo / Ахіллес	Висота рослини	77	75	78	-0,33	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	9,8	10,3	11,2	-1,56	депресія	-12,5
	Кількість зерен у колосі	30	27	30	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,58	1,10	1,74	-0,25	проміжне успадкування	—
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
CDC Alamo / Явір	Висота рослини	80	73	78	0,4	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	9,7	10,0	11,2	-1,25	депресія	-13,4
	Кількість зерен у колосі	26	27	30	-1,33	депресія	-13,3
	Вага зерна з колоса	1,35	1,51	1,74	-1,70	депресія	-22,4

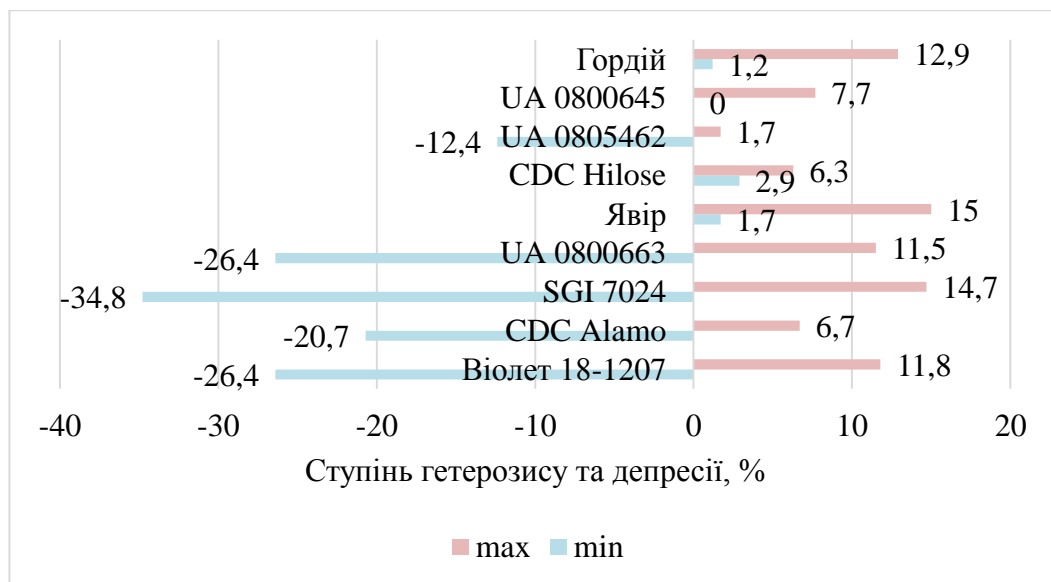
1	2	3	4	5	6	7	8
	Щільність	10	12	12	-0,2	проміжне успадкування	—
CDC Hilose / Авгур	Висота рослини	82	76	81	0,2	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	9,0	9,3	10,0	-1,42	депресія	-10,0
	Кількість зерен у колосі	26	28	31	-1,67	депресія	-16,1
	Вага зерна з колоса	1,28	1,16	1,52	-0,67	негативне домінування	—
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	—
Mebere / Авгур	Висота рослини	74	75	78	-1,33	депресія	-5,12
	Довжина колоса	9,5	9,0	9,3	0,67	позитивне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	27	25	25	0	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,55	1,15	1,48	0,21	проміжне успадкування	—
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	—
Mebere / Явір	Висота рослини	81	75	78	1,0	позитивне домінування	—
	Довжина колоса	11,3	9,1	9,3	10,0	гетерозис	21,5
	Кількість зерен у колосі	31	24	25	6,0	гетерозис	24,0
	Вага зерна з колоса	1,83	1,18	1,48	1,16	гетерозис	23,6
	Щільність	11	11	11	0	проміжне успадкування	—
UA 0802220 / Шедевр	Висота рослини	81	65	66	15,0	гетерозис	22,7
	Довжина колоса	6,8	6,5	7,0	-0,4	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	56	52	54	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,86	1,40	1,80	0,15	проміжне успадкування	—
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	—
UA 0802220 / Авгур	Висота рослини	89	69	71	9,0	гетерозис	25,4
	Довжина колоса	6,3	7,8	8,6	-2,88	депресія	-26,7
	Кількість зерен у колосі	17	39	54	-2,47	депресія	-68,5
	Вага зерна з колоса	1,00	0,90	1,80	-0,89	негативне домінування	—
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
Віолет 18-	Висота рослини	81	77	83	-0,4	проміжне	—

1	2	3	4	5	6	7	8
1207 / Явір						успадкування	
	Довжина колоса	10,1	8,7	8,8	13	гетерозис	14,8
	Кількість зерен у колосі	30	26	29	0,33	проміжне успадкування	—
	Вага зерна з колоса	1,95	1,49	1,70	1,19	гетерозис	14,7
	Щільність	13	12	13	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / CDC Hilose	Висота рослини	87	83	85	1,0	позитивне успадкування	—
	Довжина колоса	11,5	9,9	10,0	15	гетерозис	15,0
	Кількість зерен у колосі	33	30	31	2,0	гетерозис	3,2
	Вага зерна з колоса	1,81	1,58	1,63	3,6	гетерозис	11,0
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / Подив	Висота рослини	85	78	85	0	проміжне успадкування	—
	Довжина колоса	11,0	9,2	9,8	2,0	гетерозис	12,2
	Кількість зерен у колосі	32	27	29	1,5	гетерозис	10,3
	Вага зерна з колоса	1,68	1,59	1,63	1,25	гетерозис	3,1
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
UA 0805462 / CDC Alamo	Висота рослини	82	84	85	-3,0	депресія	-3,5
	Довжина колоса	11,5	10,5	11,2	0,43	проміжне успадкування	—
	Кількість зерен у колосі	31	29	30	1,0	позитивне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,87	1,68	1,74	2,16	гетерозис	7,5
	Щільність	12	12	12	0	проміжне успадкування	—
UA 0800663 / CDC Alamo	Висота рослини	80	76	78	1,0	позитивне домінування	—
	Довжина колоса	9,7	9,6	11,2	-0,94	негативне домінування	—
	Кількість зерен у колосі	26	26	30	-1,0	негативне домінування	—
	Вага зерна з колоса	1,68	1,46	1,74	-0,21	проміжне успадкування	—
	Щільність	11	12	12	0	проміжне успадкування	—

Залежність ступеню гетерозису за кількісними ознаками в F_1 від генотипу
батьківських компонентів



Ступінь гетерозису та депресії в F_1 за материнськими компонентами за
ознакою висота рослини, 2023–2025 рр.



Ступінь гетерозису та депресії в F_1 за батьківськими компонентами за
ознакою висота рослини, 2023–2025 рр.

Додаток Е

Таблиця 5.8 – Жирнокислотний склад олії зразків ярого голозерного ячменю, 2025 р.

Зразок	Мірис- тинова	Міристо- олеїнова	Пальмі- тинова	Пальміт- олеїнова	Стеари- нова	Олеїнова	Лінолева	Ліноле- нова	Ейкозе- нова	Бегенова
	C14:0	C14:1	C16:0	C16:1	C18:0	C18:1	C18:2	C18:3	C20:1	C22:0
SGI 7024	0,13	-	20,35	0,28	1,25	20,55	52,64	4,60	0,08	0,12
блакитне зерно	0,10	-	20,70	0,24	1,10	20,24	53,00	4,40	0,10	0,12
NNG 24-349	0,10	0,06	22,30	0,30	1,05	16,10	54,44	5,40	0,10	0,15
<i>nigrinudum</i>	0,08	0,05	22,20	0,30	0,97	16,20	54,38	5,60	0,10	0,12
CP 461 <i>viride</i>	0,15	0,06	24,36	0,35	1,10	17,10	52,20	4,50	0,08	0,10
	0,17	0,06	24,20	0,42	1,05	17,20	52,00	4,70	0,10	0,10
CP 383 <i>neogenes</i>	0,10	0,06	24,00	0,60	1,22	17,80	51,04	4,98	0,10	0,10
	0,12	0,08	24,10	0,68	1,20	17,92	50,84	4,82	0,11	0,13
GG 24-127 <i>viride</i>	0,10	0,07	22,70	0,58	1,52	18,33	51,90	4,60	0,08	0,12
	0,08	0,07	22,56	0,52	1,46	18,48	52,10	4,50	0,08	0,15
SBCP-119	0,08	0,07	22,32	0,25	1,20	17,55	52,55	5,70	0,10	0,08
блакитне зерно г/з шестирядний	0,10	0,06	22,50	0,42	1,23	17,44	52,46	5,60	0,09	0,10
CDC Alamo	0,15	0,08	23,20	0,60	1,50	20,50	49,70	4,05	0,10	0,12
waxy, <i>nudum</i>	0,18	0,08	23,14	0,52	1,62	20,36	49,88	4,00	0,10	0,12
Віолет 18-1207	0,16	0,08	22,33	0,47	1,36	19,00	52,22	4,18	0,10	0,10
<i>nudidubium</i>	0,15	0,07	22,56	0,42	1,28	18,90	52,10	4,30	0,12	0,10
UA 0800645	0,10	0,08	23,60	0,66	1,20	15,53	53,20	5,43	0,10	0,10
<i>nudimelanocrithum</i>	0,10	0,08	23,52	0,62	1,17	15,50	53,44	5,32	0,12	0,13
UA 0800663	0,10	0,08	23,55	0,65	1,38	17,40	51,70	4,92	0,10	0,12
<i>viride</i>	0,10	0,07	23,68	0,58	1,32	17,57	51,80	4,70	0,08	0,10
UA 0805462	0,10	0,08	22,38	0,65	1,40	18,92	51,84	4,46	0,08	0,09
<i>daghestanium</i>	0,12	0,08	22,48	0,56	1,36	19,08	51,70	4,40	0,10	0,12

Апостеріорне порівняння за вмістом жирних кислот в олії зерна голозерного ячменю, % від загального вмісту олії, 2025 р.

(ANOVA, однорідні групи по Fisher LSD)

1. Міристинова кислота

Зразок	Вміст міристинової кислоти, %	Група за вмістом кислоти	
		a	b
NNG 24-349	0,090000	****	
GG 24-127	0,090000	****	
SBCP-119	0,090000	****	
UA 0800645	0,100000	****	
UA 0800663	0,100000	****	
UA 0805462	0,110000	****	
CP 383 <i>neogenes</i>	0,110000	****	
SGI 7024	0,115000	****	
Віолет 18-1207	0,155000		****
CP 461 <i>viride</i>	0,160000		****
CDC Alamo	0,165000		****

2. Міристоолеїнова

Зразок	Вміст міристоолеїнової кислоти, %	Група за вмістом кислоти			
		a	b	c	d
NNG 24-349	0,055000				****
CP 461 <i>viride</i>	0,060000			****	****
SBCP-119	0,065000		****	****	****
CP 383 <i>neogenes</i>	0,070000	****	****	****	
GG 24-127	0,070000	****	****	****	
UA 0800663	0,075000	****	****		
Віолет 18-1207	0,075000	****	****		
UA 0805462	0,080000	****			
CDC Alamo	0,080000	****			
UA 0800645	0,080000	****			

3. Пальмітинова

Зразок	Вміст пальмітинової кислоти, %	Група за вмістом кислоти					
		a	b	c	d	e	f
SIG 7024	20,52500					****	
NNG 24-349	22,25000	****					
SBCP-119	22,41000	****	****				
UA 0805462	22,43000	****	****				
Віолет 18-1207	22,44500	****	****				
GG 24-127	22,63000		****				
CDC Alamo	23,17000						****
UA 0800645	23,56000			****			
UA 0800663	23,61500			****			
CP 383 <i>neogenes</i>	24,05000				****		
CP 461 <i>viride</i>	24,28000				****		

4. Пальмітолеїнова

Зразок	Вміст пальмітолеїнової кислоти, %	Група за вмістом кислоти				
		a	b	c	d	e
SIG 7024	0,260000		****			
NNG 24-349	0,300000		****	****		
SBCP-119	0,335000		****	****	****	
CP 461 <i>viride</i>	0,385000			****	****	
Віолет 18-1207	0,445000				****	****
GG 24-127	0,550000	****				****
CDC Alamo	0,560000	****				****
UA 0805462	0,605000	****				
UA 0800663	0,615000	****				
UA 0800645	0,640000	****				
CP 383 <i>neogenes</i>	0,640000	****				

5. Стеаринова

Зразок	Вміст стеаринової кислоти, %	Група за вмістом кислоти						
		a	b	c	d	e	f	g
NNG 24-349	1,010000					****		
CP 461 <i>viride</i>	1,075000		****			****		
SGI 7024	1,175000	****	****					
UA 0800645	1,185000	****	****					
CP 383 <i>neogenes</i>	1,210000	****		****				
SBCP-119	1,215000	****		****				
Віолет 18-1207	1,320000			****	****			
UA 0800663	1,350000				****			
UA 0805462	1,380000				****		****	
GG 24-127	1,490000						****	****
CDC Alamo	1,560000							****

7. Олейнова

Зразок	Вміст олеїнової кислоти, %	Група за вмістом кислоти							
		a	b	c	d	e	f	g	h
UA 0800645	15,51500				****				
NNG 24-349	16,15000					****			
CP 461 <i>viride</i>	17,15000						****		
UA 0800663	17,48500	****							
SBCP-119	17,49500	****							
CP 383 <i>neogenes</i>	17,86000							****	
GG 24-127	18,40500								****
Віолет 18- 1207	18,95000		****						
UA 0805462	19,00000		****						
SGI 7024	20,39500			****					
CDC Alamo	20,43000			****					

8. Ліолева

Зразок	Вміст лінолевої кислоти, %	Група за вмістом кислоти							
		a	b	c	d	e	f	g	h
CDC Alamo	49,79000			****					
CP 383 <i>neogenes</i>	50,94000				****				
UA 0800663	51,75000	****							
UA 0805462	51,77000	****							
GG 24-127	52,00000	****	****						
CP 461 <i>viride</i>	52,10000		****						
Віолет 18-1207	52,16000		****						
SBCP-119	52,50500					****			
SGI 7024	52,82000						****		
UA 0800645	53,32000							****	
NNG 24-349	54,41000								****

9. Ліоленова

Зразок	Вміст ліоленової кислоти, %	Група за вмістом кислоти						
		a	b	c	d	e	f	g
CDC Alamo	4,025000		****					
Віолет 18-1207	4,240000		****	****				
UA 0805462	4,430000	****		****				
SGI 7024	4,500000	****						
GG 24-127	4,550000	****						
CP 461 <i>viride</i>	4,600000	****			****			
UA 0800663	4,810000				****	****		
CP 383 <i>neogenes</i>	4,900000					****		
UA 0800645	5,375000						****	
NNG 24-349	5,500000						****	****
SBCP-119	5,650000							****

ІНСТИТУТ РОСЛИННИЦТВА
ім. В.Я. Юр'єва
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ

просп. Героїв Харкова, 142, м. Харків, 61060
 тел.: +380 (57) 392-11-87
 +380 (98) 949-45-24
 E-mail: yuriev1908@gmail.com
 Код ЄДРПОУ 00497176



YURIEV PLANT PRODUCTION
INSTITUTE
OF THE NATIONAL ACADEMY OF AGRARIAN
SCIENCES OF UKRAINE

Heroiv Kharkova Ave., 142, Kharkiv, 61060
 phone: +380 (57) 392-11-87
 +380 (98) 949-45-24
 E-mail: yuriev1908@gmail.com
 USREOU code 00497176

Довідка № 437

від 21 травня 2026 р.

видана аспіранту лабораторії селекції і генетики ячменю

Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН

Євгенію МИХАЙЛЕНКУ

про те, що при виконанні дисертаційної роботи за темою «Особливості створення вихідного матеріалу для селекції голозерного ячменю харчового напрямку використання» на здобуття наукового ступеня доктора філософії передані для включення до Національного генбанку рослин України лінії ячменю SBCP-119, OSCP-152, NNG 24-349, GG 24-127 (Запит №005506–005509 від 08.12.2025 року) з високим вмістом білка, крохмалю та цінних нутрієнтів з потужною антиоксидантною дією – фенольних сполук за еквівалентом галоїдної кислоти. В олії високий вміст ω -3 поліненасиченої ліноленової (5,6–5,7 %) та ω -6 лінолевої кислоти (понад 52 %), як вихідний матеріал для селекції сортів ячменю харчового напрямку використання.

Заступник директора з наукової роботи
 з генетичними ресурсами рослин



Віктор РЯБЧУН

ІНСТИТУТ РОСЛИННИЦТВА
ім. В.Я. Юр'єва

НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ АГРАРНИХ НАУК
УКРАЇНИ

просп. Героїв Харкова, 142, м. Харків, 61060
тел.: +380 (57) 392-11-87
+380 (98) 949-45-24
E-mail: yuriev1908@gmail.com
Код ЄДРПОУ 00497176



YURIEV PLANT PRODUCTION
INSTITUTE

OF THE NATIONAL ACADEMY OF AGRARIAN
SCIENCES OF UKRAINE

Heroiv Kharkova Ave., 142, Kharkiv, 61060
phone: +380 (57) 392-11-87
+380 (98) 949-45-24
E-mail: yuriev1908@gmail.com
USREOU code 00497176

№ 1/2а-

ДОВІДКА № 1/26

**про впровадження ліній голозерного ячменю з кольоровим зерном у лабораторії селекції
та генетики ячменю Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН**

Довідку видано МИХАЙЛЕНКУ Євгенію щодо впровадження в селекційний процес лабораторії селекції та генетики ячменю Інституту рослинництва ім. В.Я. Юр'єва НААН ліній голозерного ячменю, створених ним під час виконання дисертаційних досліджень:

1. SBCP-119. Лінія із зерном блакитного забарвлення, шестирядна, різновид не визначений. Новоутворення в результаті схрещування колекційних зразків SGI 7024 x Ноєм. Високий вміст білка (понад 14,5 %), крохмалю (понад 60,0 %) та цінних нутрієнтів з потужною антиоксидантною дією – фенольних сполук – понад 0,75 мг/г за еквівалентом галової кислоти. В олії високий вміст ω -3 поліненасиченої лінолевої (5,6–5,7 %) та ω -6 лінолевої кислоти (понад 52 %). Рекомендована як вихідний матеріал для селекції сортів ячменю харчового напряму використання, джерело високого вмісту білка, фенольних сполук та поліненасичених жирних кислот в олії.

2. OCCP-152. Новоутворення в результаті схрещування колекційних зразків SGI 7024 x Ноєм. Різновид не визначений. Лінія ОС СР-152 голозерна шестирядна, зерно оранжевого забарвлення. Високий вміст білка (понад 14,5 %), крохмалю біля 59 %. Високий вміст цінних нутрієнтів з потужною антиоксидантною дією: фенольних сполук понад 0,90 мг/г за еквівалентом галової кислоти та антоціанідинів понад 0,96 D530/г. Рекомендована як вихідний матеріал для селекції сортів ячменю харчового напряму використання, джерело високого вмісту білка, фенольних сполук та антоціанідинів.

3. NNG 24-349. Лінія із зерном чорного забарвлення, різновид *nigrinudum*; дуже високий вміст білка (понад 18,5 %), високий вміст цінних нутрієнтів з потужною антиоксидантною дією: фенольних сполук понад 0,90 мг/г за еквівалентом галової кислоти та антоціанідинів – 0,19 D530/г. В олії високий вміст ω -3 поліненасиченої лінолевої (5,4–5,6 %) та ω -6 лінолевої кислоти (понад 54 %). Цінний вихідний матеріал для селекції сортів ярого ячменю харчового напряму використання з профілактичною дією, джерело дуже високого вмісту білка, фенольних сполук, антоціанідинів та ω -3 поліненасиченої лінолевої кислоти в олії.

4. GG 24-127. Лінія із зерном зеленого забарвлення, різновид *viride* Vav. et Orl.; у зерні лінії дуже високий вміст білка (19,21–19,49 %) та високий вміст цінних антиоксидантів – фенольних сполук (1,19–1,40 мг-екв. галової кислоти/г), антоціанідинів (0,12–0,24 D530/г). Крохмаль зміненого складу (ваху). Цінний вихідний матеріал для селекції сортів ярого ячменю харчового напряму використання з профілактичною дією, джерело дуже високого вмісту білка, крохмалю типу ваху, фенольних сполук, антоціанідинів.

Лінії впроваджено в селекційний процес лабораторії селекції та генетики ячменю для виконання завдання 15.00.01.25.П «Створення вихідного матеріалу з підвищеною харчовою якістю для селекційного процесу голозерного ячменю з кольоровим зерном», №ДР 0126U000692 за програмою наукових досліджень НААН № 15 «Селекція та насінництво зернових колосових, круп'яних, зернобобових культур, адаптованих до умов різних ґрунтово-кліматичних зон (Зернові колосові, круп'яні, зернобобові культури)».

Завідувач лабораторії
селекції та генетики ячменю,
к. с.-г. н., с.н.с.



Павло СОЛОНЕЧНИЙ

Підпис Павла СОЛОНЕЧНОГО затверджую

Провідний фахівець відділу кадрів



Лариса ВОРОПАСВА

Список опублікованих наукових праць за темою дисертації**Статті у фахових виданнях України:**

1. Васько Н.І., Козаченко М.Р., Солонечний П.М., Наумов О.Г., Зимогляд О.В., Михайленко Є.О. Голозерні сорти ячменю для забезпечення продовольчої безпеки. *Вісник аграрної науки*. 2023. Т. 101, № 10. С. 34–40. <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202310-05>
2. Васько Н.І., Михайленко Є.О. Якісні властивості голозерного ячменю та успадкування забарвлення зерна. *Селекція і насінництво*. 2024. Вип. 126. С. 33–50. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2024.318764>
3. Vasko N., Mykhailenko Ye. Correlation between spring barley performance constituents under arid conditions. *Scientific reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2025. Vol. 21, No 4. P. 50–61. <https://doi.org/10.31548/dopovidi/4.2025.50>
4. Васько Н.І., Михайленко Є.О. Тип взаємодії генів у F₁ ярого голозерного ячменю. *Зернові культури*. 2025. Т. 9, № 2. С. 207–214. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0380>

Статті в інших наукових виданнях:

1. Vasko N., Mykhailenko E. Anthocyanins in naked pigmented barley grain as a source of antioxidant activity. *Food Science & Nutrition Technology*. 2023. V. 8. Issue 3. <https://doi.org/10.23880/fsnt-16000301>

Публікації, що засвідчують апробацію матеріалів дисертації**Тези доповідей на міжнародних і вітчизняних конференціях:**

1. Васько Н.І., Михайленко Є.О. Цінність харчового ячменю як нішевої культури для виробництва продукції здорового харчування. II Міжнарод. наук.-практич. конф. «Селекція агрокультур в умовах змін клімату: напрями та пріоритети», 24 березня 2023 р. Одеса, ІКОСГ, 2023. С. 185–187. <https://icsanaas.com.ua/wp-content/uploads/2023/04/%D0%B1%D1%96%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>

2. Васько Н.І., Солонечний П.М., Солонечна О.В., Наумов О.Г., Козаченко М.Р., Зимогляд О.В. Михайленко Є.О. Цінність голозерного ячменю з кольоровим зерном як вихідного матеріалу для селекції харчового ячменю. 4th Internat. Sci.and Prac. Internet conf. «Ways of Science development in modern crisis conditions», June 8–9, 2023. Dnipro, Ukraine, 2023. P. 111–112. <http://www.wayscience.com/wp-content/uploads/2023/06/Conference-Proceedings-June-8-9-2023.pdf>

3. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Поздняков В.В., Анциферова О.В. Вплив гідротермічних умов вирощування на рівень антиоксидантної активності ячменю ярого. Наук.-практ. конф. «Продовольча та екологічна безпека України: проблеми та шляхи їх подолання», 12 жовтня 2023 р. Київ, Інститут агроєкології та природокористування НААН, 2023. С. 25–28. https://www.agroeco.org.ua/wp-content/uploads/Publications/zbirnyky_conferentsii/Zbirnik%2012%20.10.2023.pdf

4. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Наумов О.Г. Результати гібридизації голозерного ячменю за кольором зерна F₁. VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва», 29–30 листопада 2023 р. Харків, ДБТУ. С. 35–37. <https://biotechuniv.edu.ua/nauka/konferentsiyi/>

5. Васько Н.І., Козаченко М.Р., Солонечний П.М., Наумов О.Г., Зимогляд О.В., Михайленко Є.О. Перспективи селекції ячменю за різними напрямками використання. VII Міжнар. наук.-практ. конф. «Стан і перспективи розробки та впровадження ресурсоощадних, енергозберігаючих технологій вирощування сільськогосподарських культур», 21–22 листопада 2023 р. Дніпро, ДДАУ. С. 201–203. <https://dspace.ksaeu.kherson.ua/bitstream/handle/>

6. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Супрун О.Г., Шелякіна Т.А. Особливості селекції зернових культур для виробництва продукції функціонального харчування. II Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Сучасні напрями та досягнення селекції і насінництва

сільськогосподарських культур», 29 березня 2024 р., Полтавський ДАУ. С. 118–120. <https://dspace.pdau.edu.ua/server/api/core/bitstreams/2306c340-e501-4194-ade6-6fc380b66824/content>

7. Наталья Васько, Евгений Михайленко, Алексей Наумов. Наследование окраски зерна в F₁ голозерного ячменя. Materialele conferenței Științifico-practice cu participare internațională, dedicată a 80 ani de la fondarea ICCS «Selecția». С. 77–82, 13-14 iunie 2024, Republica Moldova, Bălți. https://ibn.idsi.md/sites/default/files/imag_file/77-82_50.pdf

8. Васько Н.І., Солонечний П.М., Зимогляд О.В., Наумов О.Г., Шевченко Г.С., Михайленко Є.О., Донченко А.О. Селекція ярого ячменю різних напрямів використання на стійкість до біотичних чинників. XXV Міжнародний наук.-практ. форум «Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу». С. 246–249. Львів, Дубляни. 2–4 жовтня 2024 р. <https://lnup.edu.ua/attachments/article/8804/Forum%20LNUP%202024.pdf>

9. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Солонечний П.М., Солонечна О.В., Наумов О.Г., Зимогляд О.В. Вихідний матеріал голозерного ячменю в селекції сортів харчового напрямку використання. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні технології в рослинництві». С. 62–64. м. Харків, 27–28 листопада 2024 р. <https://yuriev.com.ua/assets/files/konferencii/zbirnik-tez-konferencii-ir-2024.pdf>

10. Васько Н.І., Солонечний П.М., Михайленко Є.О. Досягнення та перспективи селекції голозерного ячменю. V Всеукр. наук.-практ. конф. «Досягнення та концептуальні напрями розвитку сільськогосподарської науки в сучасному світі», 10 квітня 2025 р., с. Олександрівка, Дніпропетровської обл., ІОБ, 2025. С. 9–10. <https://ovoch.com/assets/files/conference/tezu/tezi-dnipro-10-04-2025.pdf>

11. Vasko N.I., Mykhailenko Ye.O., Solonechnyi P.M., Solonechna O.V., Zymohliad O.V., Naumov O.H. Expansion of the naked barley genotypic diversity in the breeding of cultivars for functional nutrition. Мат. Міжнародної наук.-практ. інтернет-конф. «Інноваційні технології в рослинництві», до 115 річ. З

дня народ. Кияка Г.С., Дубляни, Львівський НУВМБ, 30 квітня 2025 р., С. 220–223. <https://repository.lnau.edu.ua/xmlui/handle/123456789/2477>

12. Васько Н.І., Михайленко Є.О., Наумов О.Г. Методологічні особливості селекції польових культур для здорового харчування. Мат. міжнарод. наук.-практ. конф. «Продовольча безпека України. Збереження та відновлення ґрунтових і рослинних ресурсів», НУБіП України, м. Київ, 22–23 травня 2025 р. С. 53–55. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u394/mizhnarodna_naukovo-praktichna_konferenciya_prodovolcha.pdf

13. Васько Н., Михайленко Є., Солонечний П., Зимогляд О. Кореляція елементів структури продуктивності зразків голозерного ячменю. Мат. Міжнарод. наук.-практ. конф. «Актуальні проблеми сучасного землеробства, рослинництва і тваринництва», присв. 100-річчю від дня народження д. біол. н., акад. УААН, Ф.Ю. Палфія. с. Оброшине, 25 червня 2025 р. С. 36–37. https://isgkr.com.ua/images/sampledData/Tezy/Tezy_2025.pdf

14. Михайленко Є.О., Васько Н.І., Солонечний П.М., Зимогляд О.В. Розщеплення за кольором зерна в гібридних популяціях голозерного ячменю. Міжнарод. наук.-практ. конф. інтернет конференції молодих учених та спеціалістів, присв. 120-й річ. від дня народ. І.М. Полякова «Теоретичні засади інноваційного розвитку рослинництва», ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН, 20 жовтня 2025 р., Харків. С. 82–86. <https://yuriev.com.ua/assets/files/konferencii/2025-zbirnik-molodi-vcheni.pdf>