

ТИП ВЗАЄМОДІЇ ГЕНІВ У F<sub>1</sub> ЯЧМЕНЮ ЯРОГО ГОЛОЗЕРНОГО**Н. І. Васько, Є. О. Михайленко**

Інститут рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН, проспект Героїв Харкова, 142, м. Харків, 61060, Україна

**Актуальність.** Для забезпечення продовольчої безпеки одним із шляхів є створення високоврожайних гібридних сортів для широкого спектру культур, що для ячменю, як облигатного самозапилювача з клейстогамним цвітінням є складним завданням. Вивчення гетерозису допомагає селекціонеру відібрати більш продуктивні гібридні комбінації вже у ранніх поколіннях, що сприяє оптимізації селекційного процесу та виділенню більшої кількості трансгресивних сегрегантів серед більш пізніх гібридних поколінь. **Мета.** Вивчення типів взаємодії генів у F<sub>1</sub> ячменю голозерного з кольоровим зерном для виділення цінних батьківських компонентів та встановлення перспективних комбінацій схрещування. **Матеріали і методи.** Вихідним матеріалом були 10 зразків ячменю голозерного: з жовтим зерном: Явір, CDC Hilose, CDC Alamo, Mebere, з кольоровим зерном – UA 0800645 (чорне), UA 0800663 (зелене), UA 0805462 (сіро-зелене), Віолет 18-1207, Ноет (фіолетове зерно), SGI 7024 (блакитне). Схрещування проведено по типу топкросів. Ступінь домінантності (*h<sub>p</sub>*) обчислювали за формулою В. Griffing, групування отриманих даних – за класифікацією G. M. Veil, R. E. Atkins, ступінь перевищення рівня ознаки у F<sub>1</sub> над батьками – за істинним гетерозисом *H<sub>bt</sub>*. **Результати.** В результаті наших досліджень встановлено, що висота рослини найчастіше успадковувалася за типом гетерозису (36 % від усіх комбінацій схрещування) або депресії (39 %); довжина колосу – за типом гетерозису (42 %) та проміжного успадкування (24 %); кількість зерен у колосі – за проміжного успадкування (33 %) та депресії (27 %); щільність – проміжного успадкування (70 %). При успадкуванні маси зерна з колоса встановлено всі можливі типи взаємодії генів, найчастіше це був гетерозис (36 %) або депресія (27 %). Ступінь гетерозису за масою зерна з головного колосу, що є найвагомішою складовою продуктивності, найвищим був у F<sub>1</sub> з материнськими компонентами Віолет 18-1207 (до 32,9 %), UA 0805462 (26,8 %), Mebere (23,1 %); найкращим батьківським компонентом був SGI 7024. **Висновки.** За результатами досліджень голозерного ячменю з кольоровим зерном було встановлено, що ефект гетерозису залежить від комбінації схрещування та умов середовища. При цьому рівень гетерозису є різним за різними кількісними ознаками: висотою рослини (1,7–15,0 %), довжиною колоса (1,1–37,3 %), кількістю (7,4–14,3 %) та масою зерна з колоса (1,2–50,8 %). Виділено батьківські компоненти, які є кращими для отримання гібридних комбінацій, перспективних для отримання трансгресивних сегрегантів за ознаками продуктивності ячменю: материнські Віолет 18-1207 з фіолетовим зерном та UA 0805462 із сіро-зеленим зерном, батьківський – лінія SGI 7024 із блакитним зерном.

**Ключові слова:** гетерозис, депресія, гібридна рослина, батьківський компонент, домінування, структура продуктивності, довжина колоса, висота рослини, кількість зерен з колоса, маса зерна з колоса.

**Вступ.** Гетерозис, також відомий як гібридна енергія, – це явище, при якому потомство переважає одного або обох батьків за певними ознаками. З точки зору селекції сільськогосподарських культур, це, зазвичай, стосується переваги врожайності гібридів F<sub>1</sub> над обома інбредними батьками, зокрема, істинний гетерозис (*H<sub>bt</sub>* – heterobeltiosis) – це переважання рослин F<sub>1</sub> кращого за рівнем ознаки батьківського компонента. Створення високоврожайних гібридних сортів для ширшого спектру культур є ключем до задово-

лення майбутніх потреб у продуктах харчування. Однак традиційні стратегії гібридної селекції виявляються надзвичайно складними для комерційного застосування на багатьох самозапилюючих культурах, зокрема, на ячмені. Наразі у цих культур відносна перевага гібридів у продуктивності над інбредними лінійними сортами не переважає вартість виробництва гібридного насіння [1]. Для створення ліній з покращеними агрономічними характеристиками застосовують сучасні інструменти генної інженерії для син-

**Інформація про авторів:**

**Васько Наталія Іванівна**, доктор с.-г. наук, старший науковий співробітник, вчений секретар, e-mail: [nvasko1964@gmail.com](mailto:nvasko1964@gmail.com), <https://orcid.org/0000-0002-2421-1625>

**Михайленко Євгеній Олександрович**, аспірант, <https://orcid.org/0009-0003-6534-6782>

тезу супергенів шляхом злиття кількох гетеротичних алелів у кількох локусах, пов'язаних з гетерозисом. Ця стратегія розробляється на ячмені (*Hordeum vulgare* L.), як модельній самозапильній культурі [1, 2]. Успішне створення та використання гібридних сортів ячменю залежить від наявності високого рівня гетерозису, достатнього рівня перехресного запилення та надійної системи отримання материнського компонента [2]. Можливості комерційного використання гетерозису ячменю обговорювалися ще з 40-х років минулого сторіччя [3], пізніше було описано систему цитоплазматичної чоловічої стерильності ячменю [4].

Аналіз гетерозису за врожайністю та продуктивністю є актуальними і для сучасних досліджень. Вивчення гетерозису допомагає селекціонеру відбирати більш продуктивні гібридні комбінації вже у ранніх поколіннях, що сприяє оптимізації селекційного процесу та виділенню більшої кількості трансгресивних сегрегантів серед більш пізніх гібридних поколінь [5–7]. Чисельні дослідження підкреслюють критичну роль генетичної мінливості та гетерозису у підвищенні потенціалу врожайності ячменю [2, 7–9].

У результаті вивчення гетерозису в ячменю було виявлено як адитивні, так і неадитивні ефекти генів [10–13]. При цьому існують різні думки щодо важливості дії генів на прояв гетерозису. Так, переважна більшість вчених основним ефектом гетерозису вважає вплив неадитивних ефектів [10–12], але існує і альтернативна думка щодо більш важливої дії адитивних ефектів, ніж неадитивних [13, 14].

Таким чином, вивчення гетерозису у самозапильних культур, у тому числі і ячменю, є актуальним для селекції на підвищення продуктивності та врожайності. Зокрема, подібні дослідження можуть сприяти створенню та вирішенню промислового вирощування гібридних сортів ячменю.

**Мета досліджень.** Метою досліджень було вивчення типів взаємодії генів у  $F_1$  ячменю голозерного (*H. vulgare*, convar. *nudum* L.), у тому числі з кольоровим зерном, для встановлення перспективних комбінацій схрещування, в яких, у подальших поколіннях, можливе виділення великої кількості трансгресивних сегрегантів.

**Матеріали та методи.** В наших дослідженнях вихідним матеріалом було десять зразків ячменю голозерного, серед них шість – з кольоровим зерном. Сорти з жовтим зерном: селекції Інституту рослинництва НААН Явір та походженням з Канади – CDC Nilose, CDC Alamo, Mebere var *nudum* L., з кольоровим зерном – колекційні зразки UA 0800645 var. *nudimelanocrithum* Giess et al. (чорне), UA 0800663 var. *viride* Vav. et Orl. (зелене), UA 0805462 var. *daghestanicum* Vav. et Orl. (сіро-зелене), лінія селекції Інституту рослинництва ім. В. Я. Юр'єва НААН (ІР НААН) Віолет 18-1207 var. *nudidubium* Koern., Ноєм var. *violaceum* Koern. (фіолетове зерно), лінія селекції Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення НААН (СГІ–НЦНС НААН) SGI 7024 var. *nudum* (блакитне). Схрещування проведено по типу топкросів.

Сорти та колекційні зразки вирощували в польових умовах у 2023–2024 рр. на полях наукової сівозміни ІР НААН. Сівбу проводили касетною сівалкою СКС-6А в оптимальні строки. Зразки ячменю висівали за схемою селекційного розсадника першого року вивчення з розміщенням батьківських компонентів поряд з гібридними рослинами. Збирання врожаю проводили вручну з корінням. Для аналізу структурних елементів продуктивності з кожного зразка відбирали по десять типових рослин. Статистичну обробку експериментальних даних проводили за програмою STATISTICA-6 – однофакторний дисперсійний аналіз (ANOVA) для попарного порівняння, апостеріорне порівняння – за однорідними групами по Fisher LSD.

Ступінь домінантності ( $hp$ ) обчислювали за формулою В. Griffing [15] (1):

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

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

Групування отриманих даних проводили за класифікацією G. M. Veil, R. E. Atkins [16], за якою можливими є наступні типи взаємодії генів:  $hp > 1$  – гетерозис (позитивне наддомінування),  $0,5 < hp \leq 1$  – позитивне домінування,  $-0,5 \leq hp \leq 0,5$  – проміжне успадкування,  $-1 \leq hp \leq -0,5$  – негативне домінування,

$h_p < -1$  – депресія (негативне наддомінування).

Ступінь перевищення рівня ознаки у  $F_1$  над батьками визначали за істинним гетерозисом  $H_{bt}$ , 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. Істинний гетерозис визначали за формулою (2):

$$H_{bt}(\%) = \frac{(F_1 - BP)}{BP} \times 100 \quad (2),$$

де  $H_{bt}$  – істинний гетерозис,  $F_1$  – значення ознаки у гібрида,  $BP$  – значення озна

ки у кращого з батьківських компонентів.

Погодні умови в роки проведення досліджень (2023–2024 рр.) були різними, що дало змогу всебічно оцінити зразки голозерного ячменю (рис. 1, 2). Температура повітря за 2023 р. була близькою до середньої багаторічної (норми). Умови 2024 р. були аномально жорсткими – температура дуже висока (див. рис. 1), на 3,5–4,6 °C вищою за норму. Ячмінь не розкущився, рослини дуже потерпали від високої температури не лише повітря, але й поверхні ґрунту (до 60 °C), зерно піддалося запалу, що викликало істотне зниження врожайності.

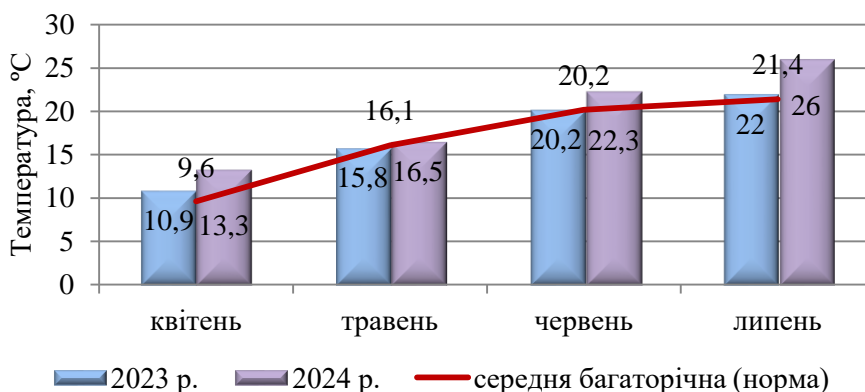


Рис. 1 Середньодобова температура повітря за роки дослідження у порівнянні з середньою багаторічною.

На фоні підвищених температур негативний вплив на рівень продуктивності голозерного ячменю мала також сума продуктивних опадів (див. рис. 2). Так, у травні ячмінь проходить одну з критичних фаз – кущіння, тому особливо вимогливий до умов вирощування, але за обидва роки дослідження сума опадів була меншою за норму на 11,7–10,7 мм, що не сприяло продуктивному кущінню ячменю. В червні, коли ячмінь проходить нас-

тупні критичні фази – колосіння та наливу, сума опадів була меншою за норму на 14,3–2,3 мм. У липні опадів 2023 р. було більше за середньобагаторічні дані, але дощі були зливовими і непродуктивними, тобто за декілька діб випадала велика кількість опадів, які на фоні підвищених температур швидко випаровувалися. Особливо жорсткими умовами вирізнявся 2024 р. – високі температури та постійна посуха впродовж усієї вегетації ячменю.

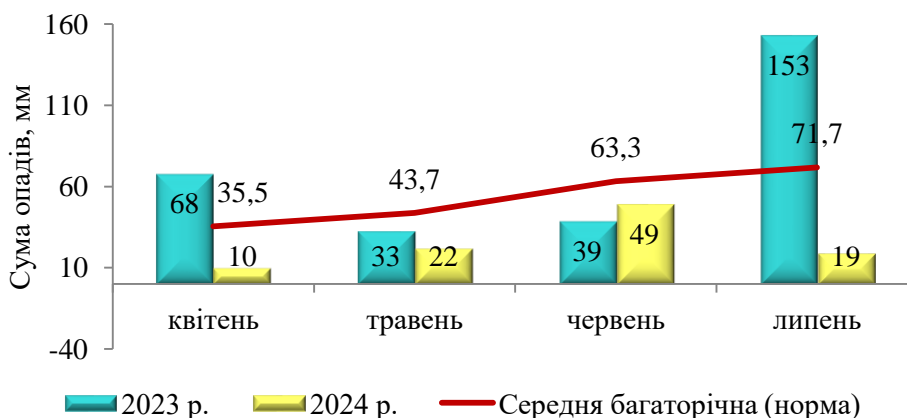


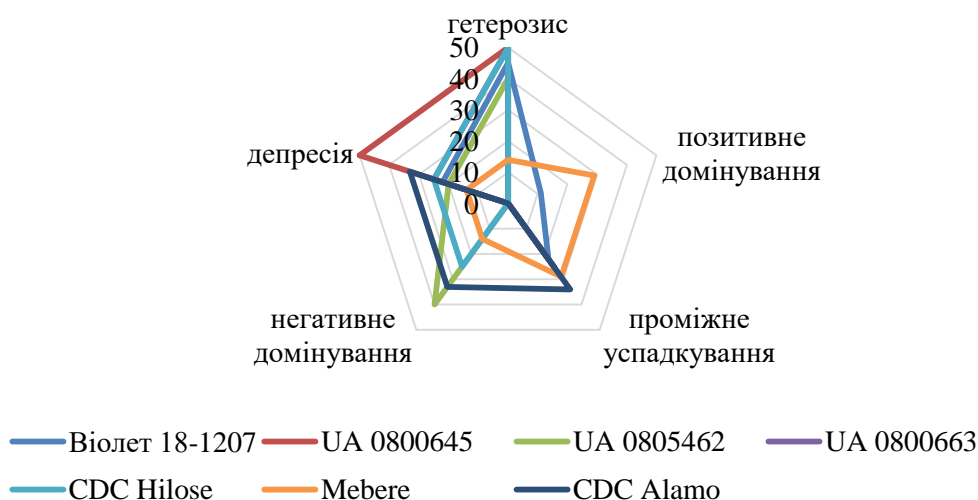
Рис. 2 Сума опадів за місяць у роки дослідження порівняно з середньобагаторічними даними.

**Результати та обговорення.** Вихідним матеріалом для схрещування за материнські компоненти були взяті сорти Mebere, CDC Alamo, CDC Hilose, колекційні зразки UA 0800645, UA 0805462, UA 0800663 та лінії Віолет 18-1207, Ноем, за батьківські – CDC Alamo Віолет 18-1207, UA 0800663, SGI 7024, Явір. У нашому дослідженні висота рослини найчастіше успадковувалася за типом гетерозису (36 % від усіх комбінацій схрещування) або депресії (39 %); довжина колосу – за гетерозису (42 %) та проміжного успадкуван-

ня (24 %); кількість зерен у колосі – за проміжного успадкування (33 %) та депресії (27 %); щільність – за проміжного успадкування (70 %).

При успадкуванні маси зерна з колоса встановлено всі можливі типи взаємодії генів, найчастіше це був гетерозис (36 %) або депресія (27 %). Гетерозис за цією ознакою найчастіше спостерігали у комбінаціях з материнськими компонентами CDC Hilose, UA 0800645, UA 0805462, UA 0800663, Віолет 18-1207 (40–50 % від усіх комбінацій) (рис. 3).

Ступінь гетерозису в  $F_1$  дає змогу вия-

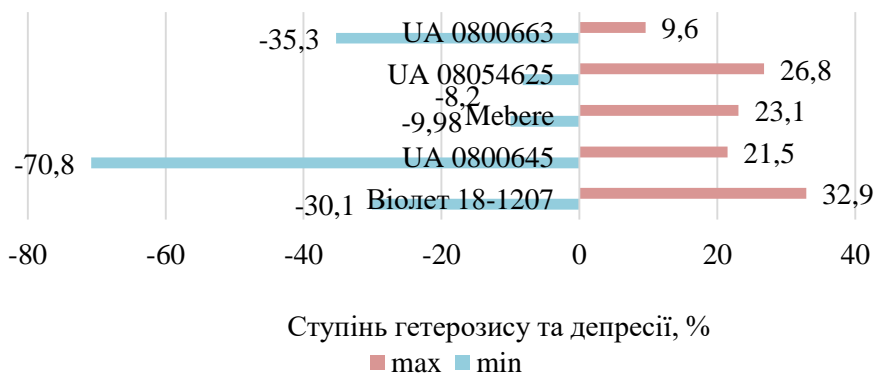


**Рис. 3** Частота типів взаємодії генів в  $F_1$  за материнськими компонентами за ознакою «маса зерна з колосу», % від усіх комбінацій схрещування з певним материнським компонентом, 2023–2024 рр.

вити найбільш сильний прояв ознаки  $F_1$  у порівнянні з кращим батьківським компонентом, але він може варіювати в широких межах внаслідок міжалельної взаємодії генів. У наших дослідженнях ступінь гетерозису за масою зерна з колосу найвищим був у гібридних рослин з материнським компонентом Віолет 18-1207 (32,9 %, Віолет 18-1207 x CDC Hilose), далі UA 0805462 (26,8 %, UA 005462 x

SGI 7042), Mebere (23,1 %, Mebere x Явір) (рис. 4). Але доречно зауважити, що ступінь депресії в інших гібридних популяціях з цими ж материнськими компонентами теж був доволі значним – Віолет 18-1207 x CDC Alamo (-30,1 %), UA 005462 x Віолет 18-1207 (-8,2 %), Mebere x Віолет 18-1207 (-9,98 %).

Враховуючи частоту та ступінь гетерозису за масою зерна з колосу, як головного



**Рис. 4** Ступінь гетерозису та депресії в  $F_1$  за материнськими компонентами за ознакою «маса зерна з колосу», 2023–2024 рр.

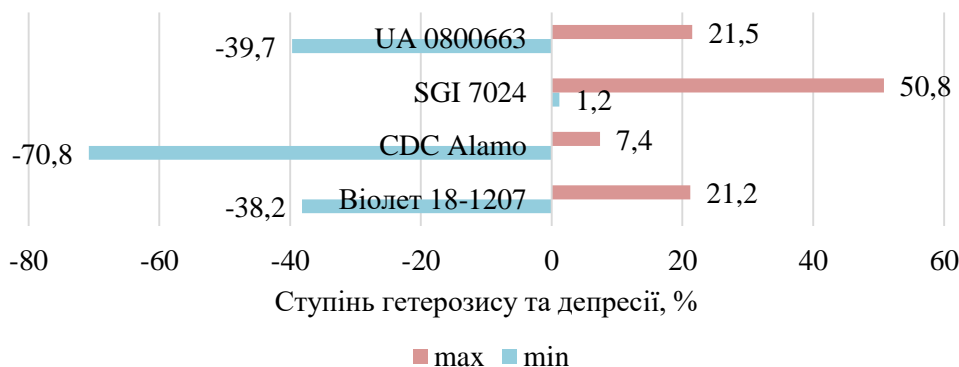
структурного елемента продуктивності ячменю, встановлено, що найбільш перспективними материнськими компонентами є лінія Віолет 18-1207 з фіолетовим зерном та колекційний зразок UA 005462 із зерном сіро-зеленого забарвлення.

Щодо батьківських компонентів схрещування, то тип взаємодії генів наддомінування (гетерозис) за масою зерна з колосу найчастіше зустрічався в комбінаціях з батьківським компонентом SGI 7024 (80 % від усіх комбінацій схрещування), далі Віолет 18-1207 (29 %) та колекційний зразок UA 0800663 (22 %). При цьому депресію за цією ознакою відмічено у гібридних рослин з батьківським компонентом CDC Alamo (80 % від

усіх комбінацій схрещування) та Віолет 18-207 (43 %).

Ступінь гетерозису за масою зерна з колосу найвищим був у гібридних популяціях Ноем var. *violaceum* x SGI 7024 (50,8 %), далі UA 0800645 x UA 0800663 (21,5 %), CDC Hilose x Віолет 18-1207 (21,2 %) (рис. 5). Але при цьому в інших гібридних популяціях спостерігали депресію за масою зерна з колосу – UA 0800645 x CDC Alamo (-70,8 %), CDC Hilose x UA 0800663 (-39,7 %). Доречно зауважити, що з батьківським компонентом SGI 7024 депресію за масою зерна з колосу не виявлено в жодній з гібридних популяцій.

Враховуючи частоту та ступінь гетерозису за масою зерна з колосу, встановлено,



**Рис. 5** Ступінь гетерозису та депресії в  $F_1$  за батьківськими компонентами за ознакою «маса зерна з колосу», 2023–2024 рр.

що найбільш перспективним батьківським компонентом є лінія SGI 7024 з блакитним зерном. Таким чином, кращими компонентами для створення гібридних популяцій з перспективою виділення трансгресивних сегрегантів є материнські Віолет 18-1207 з фіолетовим зерном та UA 005462 – з зерном сіро-зеленого забарвлення, батьківським – SGI 7024 – з блакитним зерном.

Зазвичай, гетерозис проявляється сильніше в стресових умовах, ніж у сприятливих. Це пов'язано з тим, що гібриди часто мають підвищену стійкість до різних чинників, у тому числі і до посухи. Тобто, гетерозиготи  $F_1$  часто мають більш ефективну систему регуляції фізіологічних процесів, що дозволяє їм краще адаптуватися до екстремальних умов. У сприятливому середовищі різниця за рівнем прояву ознак між гетерозиготами та їх батьківськими компонентами може бути менш вираженою. Однак гетерозиготи все

одно часто мають певні переваги, такі як велика швидкість росту або краща ефективність використання ресурсів. З іншої сторони, підвищена швидкість метаболізму у гібридів може зробити їх більш сприйнятливими до стресу в певних середовищах, що впливає на гетерозис. Вірогідно, що саме таке явище виникло і в наших дослідженнях, тому що за роками гетерозис частіше проявлявся в більш сприятливих умовах 2023 р., ніж у вкрай несприятливому 2024 р. (табл. 1).

Таким чином, встановлено, що прояв типу взаємодії генів у  $F_1$  залежить від умов середовища (погодних умов року дослідження), комбінації схрещування та є неоднаковим за досліджуваними ознаками. Тобто, гетерозис не є невід'ємною ознакою конкретного гібрида, а змінюється залежно від ознак та середовища.

Розмах позитивного наддомінування (гетерозису) та негативного наддомінування

**Таблиця 1. Розподіл типів взаємодії генів у  $F_1$  за роками**

Рік	Частота типів взаємодії генів, % від усіх гібридних комбінацій				
	Гетерозис	Позитивне домінування	Проміжне успадкування	Негативне домінування	Негативне наддомінування (депресія)
2023	44	9	31	3	13
2024	19	11	25	16	29

(депресії) за ознаками відрізнявся, мав різну амплітуду та досягав найвищого ступеня за масою зерна з головного колоса – до 50,8 % (табл. 2).

**Таблиця 2. Розмах ступеня гетерозису та депресії в  $F_1$  за висотою та елементами структури продуктивності, %, 2023–2024 рр.**

Ознака	Позитивне наддомінування (гетерозис)		Негативне наддомінування (депресія)	
	максимальне	мінімальне	максимальне	мінімальне
Висота рослини	15,0	1,7	-26,4	-5,2
Довжина колоса	37,3	1,1	-48,1	-21,3
Кількість зерен у колосі	14,3	7,4	-64,0	-10,7
Маса зерна з головного колоса	50,8	1,2	-70,8	-8,2
Щільність колоса	8,3	–	-40,0	-16,7

Найменшим ступінь гетерозису був за щільністю колоса, висотою рослини, а також за кількістю зерен у колосі. Щодо щільності колоса, то ця ознака змінюється дуже мало, а в наших дослідженнях відчутні коливання рівня щільності одержано за рахунок участі в схрещуваннях щільноколосого еректоїда UA 0800645 var *nudimelanocrithum*, у якого цей показник перевищував 14 члеників на 4 см довжини колоса. За висотою рослини невисокий ступінь гетерозису пояснюється тим, що в несприятливих умовах рослини  $F_1$  та їх батьківські компоненти були невисокими, значна різниця за висотою була відсутня. Тим же пояснюється і помірний ступінь гетерозису за кількістю зерен у колосі.

Негативне наддомінування (депресія) за висотою рослин було незначним, тоді як за іншими ознаками досягало доволі високого рівня – від -40,0 % – за щільністю і до -70,8 % – за масою зерна з головного колоса (див. табл. 2). Можливо, це також пояснюється більшою сприйнятливістю гібридів до стресу внаслідок підвищеної швидкості їх метаболізму, що у жорстких погодних умовах негативно вплинуло на рівень прояву ознак. Тобто величина гетерозису залежить від ступеня відмінності батьківських компонентів за певною ознакою та від реакції рослин на умови вирощування.

Результати наших досліджень узгоджуються з чисельними даними інших вче-

них, якими доведено, що тип взаємодії генів та ступінь гетерозису залежать як від генотипу батьківських компонентів, так і від умов середовища та взаємодії генотип x середовище [7, 12–14, 17, 18]. Зокрема, виділено комбінації схрещування з високим ступенем гетерозису за кількісними ознаками «висота рослини», «довжина колоса», «кількість зерен» та «маса зерна з головного колоса» в різних середовищах: нормальних та за теплового стресу [17], сприятливих та несприятливих погодних умовах [7]. R. S. Raikwar [12] відмічає дуже значну інбридингову депресію поряд із значним істинним гетерозисом за довжиною колоса, кількістю зерен та масою зерна з колосу незалежно від дати сівби, що може вказувати на роль неадитивної взаємодії генів, що представляють домінантні та епістатичні компоненти у прояві гетерозису. K. Madhukar, et al. вважають, що в прояву гетерозису переважають неадитивні компоненти генетичної варіації [18].

**Висновки.** Таким чином, у результаті наших досліджень з ячменем голозерним, у тому числі з кольоровим зерном, ми встановили, що ефект гетерозису проявляється залежно від комбінації схрещування та умов середовища. При цьому рівень гетерозису змінюється внаслідок міжжалельної взаємодії генів, тому є різним за різними кількісними ознаками – висотою рослини (1,7–15,0 %), довжиною колоса (1,1–37,3 %), кількістю (7,4–

14,3 %) та масою зерна з колоса (1,2–50,8 %), тобто гетерозис не є характеристикою певного гібрида, а міняється залежно від умов середовища. Виділено батьківські компоненти, які є кращими для отримання гібридних комбінацій, перспективних для отримання трансгресивних сегрегантів за ознаками про-

дуктивності ячменю. Серед них за материнський компонент слугує лінія селекції ІР НААН Віолет 18-1207 з фіолетовим зерном та колекційний зразок UA 0805462 із сіро-зеленим зерном, за батьківський – лінія селекції СГІ–НЦНС НААН SGI 7024 із блакитним зерном.

### Використана література

1. Paril J., Reif J., Fournier-Level A., Pourkheirandish M. Heterosis in crop improvement. *Plant J.* 2024. Vol. 117 (1). P. 23–32. doi: 10.1111/tbj.16488.
2. Ramage R.T. Heterosis and hybrid seed production in barley. In: *Theoretical and Applied Genetics*. Ch. 3. 1983. P. 71–93.
3. Suneson C.A. A male sterile character in barley. A new tool for plant breeder. *J. Heredity*. 1940. Vol. 31. P. 213–214. doi: 10.5555/19401601038
4. Ahokas H. Cytoplasmic male sterility in barley. *Acta Agri. Scand.* 1979. Vol. 79. Is. 3. P. 219–224. doi: 10.1080/00015127909435232
5. Yadav M., Prakash V., Gupta D., Choudhary M., Get S., Choudhary K.B., Sharma S.K. Study of heterosis and combining ability in barley (*Hordeum vulgare* L.) under normal and limited moisture condition. *Environmental and Ecology*. 2022. Vol. 40(3D). P. 1857–1864. doi: 10.5555/20230062179
6. Meena B.S., Dashora A., Dodiya N.S., Kumar D., Verma R.P.S. Study of heterosis for yield and grain quality traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Ecology Environment and Conservation*. 2022. Vol. 28. Is. 4. Doi: 10.53550/EEC.2022.v28i04s.056
7. Буняк Н.М. Ступінь фенотипового домінування кількісних ознак у гібридних популяцій F<sub>1</sub> голозерного ячменю. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 127–133. doi: 10.32848/agraar.innov.2023.19.20
8. Muhu-Din Ahmed H. G., Al-Ghabi A. A., Farraj A. L., Zeng Y., Iqbal R. Deciphering variability and heterosis in barley for sustainable yield potential. *Applied Ecology and Environment Research*. 2025. Vol. 3(3). doi: 10.15666/aeer/2303\_4443456
9. Labazanova A. Growth heterosis study in barley F<sub>1</sub> hybrids. *Bulletin of Science and Practice*. 2022. doi: 10.33619/2414-2948/78/18
10. Rohman M., Begum S., Mohi-Ud-Din M. A 7x7 diallel cross for developing high-yielding and saline-tolerance barley (*Hordeum vulgare* L.). *Heliyon*. 2024. Vol. 10(14). doi: 10.1016/heliyon.2024.e34278
11. Bouchetat F., Berimoussa M. Evaluation of combining abilities and heterosis effect a better selection of hybrid barley. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2022. Vol. 13, Is. 2. doi: 10.29312/remexca.v13i2.28
12. Raikwar R. S. Heterosis and inbreeding depression for yield and its components traits in barley (*Hordeum vulgare*). *Indian J. of Agricultural Sciences*. 2020. Vol. 90 (2). P. 307–311. DOI: 10.56093/ijAAS.V90I2.99007
13. Yar T.C., Harvey B.L. Heterosis and combining ability of barley hybrids in densely and widely seeded conditions. *Can. J. of Plant Sci.* 1971. Vol. 51, No 2. doi: 10.4441/cjps71-024
14. Medimagh S., El Felah M. Heterosis analysis for seed quality traits in spring barley. *IJAK*. 2019. Vol. 7 (7). P. 52–57. doi: 10.21474/JAR01/9324
15. Griffing B. A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*. 1956. V. 10. P. 31–50.
16. Beil G.M., Atkins R.E. Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa State J. Science*. 1965. Vol. 39. № 6. P. 165–179.
17. Yadav C. L., Gotwall D. K., Rajput S. S., Gupta D., Yadav O. P., Meena A. K. Study of heterosis in barley (*Hordeum vulgare* L.) for grain yield and its component characters in different environmental condition. *Plants Archives*. 2024. Vol. 2. No 2. P. 311–318. doi: 10.51470/PLANTARCHIVES.2024.v24.no2.042
18. Madhukar K., Prasad L.C., Lal J.P., Chandra K., Thakur P. Heterosis and mixing effects in barley (*Hordeum vulgare* L.) for yield and drought related traits. *J. of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018. Vol. 7, Is. 2. P. 2882–2888.

### References

1. Paril, J., Reif, J., Fournier-Level, A., and Pourkheirandish, M. (2024). Heterosis in crop improvement. *Plant J.*, 117 (1), 23–32. doi: 10.1111/tbj.16488.
2. Ramage, R.T. (1983). Heterosis and hybrid seed production in barley. In: *Theoretical and Applied Genetics*. Ch. 3. P. 71–93.
3. Suneson, C.A. (1940). A male sterile character in barley. A new tool for plant breeder. *J. Heredity*, 31, 213–214. doi: 10.5555/19401601038
4. Ahokas, H. (1979). Cytoplasmic male sterility in barley. *Acta Agri. Scand.*, 79 (3), 219–224. doi: 10.1080/00015127909435232
5. Yadav, M., Prakash, V., Gupta, D., Choudhary, M., Get, S., Choudhary, K.B., and Sharma, S.K. (2022). Study of heterosis and combining ability in barley (*Hordeum vulgare* L.) under normal and limited moisture condition. *Environmental and Ecology*, 40 (3D), 1857–1864. doi: 10.5555/20230062179
6. Meena, B.S., Dashora, A., Dodiya, N.S., Kumar, D., and Verma, R.P.S. (2022). Study of heterosis for yield and grain quality traits in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Ecology Environment and Conservation*, 28 (4). doi: 10.53550/EEC.2022.v28i04s.056
7. Bunyak, N.M. (2023). Degree of phenotypic dominance

- of quantitative features in hulless barley  $F_1$  hybrids. *Agrarian innovations*, 19, 127–133. doi: 10.32848/agrar.innov.2023.19.20[in Ukrainian].
8. Muhu-Din Ahmed, HG, Al-Ghabi, AA, Farraj, AL, Zeng, Y, and Iqbal, R. (2025). Deciphering variability and heterosis in barley for sustainable yield potential. *Applied Ecology and Environment Research*, 3 (3). doi: 10.15666/aer/2303\_4443456
  9. Labazanova, A. (2022). Growth heterosis study in barley  $F_1$  hybrids. *Bulletin of Science and Practice*, 8 (5). doi: 10.33619/2414-2948/78/18
  10. Rohman, M, Begum, S, and Mohi-Ud-Din, M. (2024). A 7x7 diallel cross for developing high-yielding and saline-tolerance barley (*Hordeum vulgare* L.). *Heliyon*, 10 (14). doi: 10.1016/heliyon.2024.e34278
  11. Bouchetat, F, and Berimoussa, M. (2022). Evaluation of combining abilities and heterosis effect a better selection of hybrid barley. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13 (2). doi: 10.29312/remexca.v13i2.28
  12. Raikwar, R. S. (2020). Heterosis and inbreeding depression for yield and its components traits in barley (*Hordeum vulgare*). *Indian J. of Agricultural Sciences*, 90 (2), 307–311. doi: 10.56093/ijAAS.V90I2.99007
  13. Yar, TC, and Harvey, BL. (1971). Heterosis and combining ability of barley hybrids in densely and widely seeded conditions. *Can. J. of Plant Sci.*, 51 (2). doi: 10.4441/cjps71-024
  14. Medimagh, S, and El Felah, M. (2019). Heterosis analysis for seed quality traits in spring barley. *IJAK*, 7 (7), 52–57. doi: 10.21474/JAR01/9324
  15. Griffing, B. (1956). A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. *Heredity*, 10, 31–50.
  16. Beil, GM, and Atkins, RE. (1965). Inheritance of quantitative characters in grain sorghum. *Iowa State J. Science*, 39 (6), 165–179.
  17. Yadav, CL, Gotwall, DK, Rajput, SS, Gupta, D, Yadav, OP, and Meena, AK. (2024). Study of heterosis in barley (*Hordeum vulgare* L.) for grain yield and its component characters in different environmental condition. *Plants Archives*, 2 (2), 311–318. doi: 10.51470/PLANTARCHIVES.2024.v24.no2.042
  18. Madhukar, K, Prasad, LC, Lal, JP, Chandra, K, and Thakur, P. (2018). Heterosis and mixing effects in barley (*Hordeum vulgare* L.) for yield and drought related traits. *J. of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7 (2), 2882–2888.

UDC 633.16:631.527

**Vasko, N. I., Mykhailenko, Ye. O. Types of gene interaction in  $F_1$  hulless spring barley.**

*Grain Crops*. 2025. 9 (2). 207–214.

*Yuriev Plant Production Institute of NAAS of Ukraine, 142 Heroiv Kharkova av., Kharkiv, 61060, Ukraine*

**Topicality.** Development of high-yielding hybrid varieties of various crops is a way to ensure food security. This is a challenge in case of barley, as this crop is an obligate self-pollinator with cleistogamous flowering. Research into heterosis helps breeders to select more productive hybrid combinations in early generations, contributing to the optimization of breeding procedures and identification of larger numbers of transgressive segregants in later hybrid generations. **Purpose.** To investigate types of gene interactions in  $F_1$  hulless barleys with coloured caryopsides in order to select valuable parental components and promising crossing combinations. **Materials and Methods.** The starting material consisted of 10 samples of hulless barley, including yellow-grained varieties: Yavir, CDC Hilose, CDC Alamo, Mebere, and coloured-grained varieties: UA 0800645 (black seeds), UA 0800663 (green seeds), UA 0805462 (grey-green seeds), Violet 18-1207, Hoem (purple seeds), SGI 7024 (blue seeds). Crossing performed using the topcross method. The degree of dominance ( $h_p$ ) was calculated by B. Griffing's formula; the data were grouped in accordance with G.M. Beil and R.E. Atkins' classification; superiority of traits in  $F_1$  over the parents was assessed by heterobeltiosis ( $H_{bt}$ ) formula. **Results.** It was found that plant height was most often inherited by heterosis (36 % of all crossing combinations) or depression (39 %); spike length – by heterosis (42 %) or intermediate inheritance (24 %); number of grains per spike – by intermediate inheritance (33 %) or depression (27 %); spike density – by intermediate inheritance (70 %). The inheritance of grain weight per spike occurred according to all possible types of gene interaction, most often heterosis (36 %) or depression (27 %). The highest heterosis degree in terms of grain weight in the main spike, as the most significant component of productivity, was observed in  $F_1$ , where Violet 18-1207 (up to 32.9%), UA 0805462 (26.8 %), and Mebere (23.1 %) were taken as female components. The best male component was SGI 7024. **Conclusions.** The study of hulless barleys with coloured caryopsides demonstrated that the heterosis effect depended on crossing combinations and environmental conditions. At the same time, the heterosis level varied for different quantitative traits: plant height (1.7–15.0 %), spike length (1.1–37.3 %), number of grains per spike (7.4–14.3 %), and grain weight per spike (1.2–50.8 %). The best parental components for hybrid barley combinations that are considered to be promising for performance characteristics-oriented selection of transgressive segregants were identified: as maternal components Violet 18-1207 with purple grain and UA 0805462 with grey-green grain, and paternal component – line SGI 7024 with blue grain.

**Key words:** heterosis, depression, hybrid plant, parental component, dominance, performance structure, spike length, plant height, number of grains per spike, grain weight per spike.