

УДК 635.615:631.527

Л.О. Радченко, О.В. Сергієнко*, Л.Д. Солодовник, С.О. Немченко,
Т.М. Гарбовська

Прояв гетерозису та ступеня домінування за цінними господарськими ознаками у гібридів F1 огірка в умовах захищеного ґрунту

Інститут овочівництва і баштанництва НААН,
селище Селекційне, Харківський р-н, Харківська обл., Україна
*E-mail: oksana.sergienko71@ukr.net

UDC 635.615:631.527

L.O. Radchenko, O.V. Serhiienko*, L.D. Solodovnyk, S.O. Nemchenko,
T.M. Harbovska

Heterosis and Dominance Degree for Valuable Economic Traits in F1 Cucumber Hybrids Grown in a Greenhouse

*Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS,
Seleksiine Village, Kharkivskiy District, Kharkivska Oblast, Ukraine
E-mail: oksana.sergienko71@ukr.net

Реферат: Метою дослідження було комплексно оцінити прояв гетерозису та ступінь домінування за основними цінними господарськими ознаками у партенокарпічних гібридів F1 огірка та визначити найбільш перспективні комбінації для селекційного використання. Дослідження проводили впродовж 2021–2025 рр. в Інституті овочівництва і баштанництва НААН в умовах захищеного ґрунту. Встановлено, що урожайність гібридів варіювала від 14,6 до 22,8 кг/м², товарність – від 76 до 90 %, середня маса плоду становила 82–91 г. Відзначено переважання неадитивних генетичних ефектів ($h_p > 1$) за ознаками урожайності. Рівень гетерозису за урожайністю варіював в межах 84–120 %. Найвищий ефект (120 %) і виражене наддомінування ($h_p = 7,3$) виявлено у гібрида F1 (Кузя / Парк). Показники гетерозису за товарністю ($X = 91–106$ %) та скоростиглістю ($X = 94–106$ %) свідчать про переважання адитивного або частково домінантного характеру спадкування цих ознак. РСА-аналіз підтвердив домінуючий внесок показників урожайності у формуванні загальної фенотипової варіабельності досліджуваних генотипів. Після стандартизації показників (Z_{ij}) у межах експерименту обчислено інтегральний індекс селекційної цінності як суму зважених стандартизованих величин. Найвище значення індексу встановлено у гібридів F1 (Парк / Кузя) – 0,948 та F1 (Кузя / Парк) – 0,936, що свідчить про їх високу комплексну цінність. Водночас комбінації за участю ліній Кузя, №11 та Парк характеризувалися найвищими показниками гетерозису та наддомінування за досліджуваними ознаками, що підтверджує їх доцільність як джерела високої комбінаційної здатності у селекції інтенсивних тепличних гібридів. Таким чином, комплексне застосування показників гетерозису, ступеня домінування, індексу селекційної цінності та багатовимірного аналізу дозволяє обґрунтовано виділяти перспективні генотипи для створення конкурентоспроможних гібридів огірка. Поєднання ліній із високим індексом комплексної цінності та джерел інтенсивного гетерозису створює передумови для подальшого удосконалення селекційних програм.

Ключові слова: *Cucumis sativus*, селекція, урожайність, товарність, скоростиглість

Abstract: The purpose of the study was to comprehensively evaluate heterosis and dominance degree for the main valuable economic traits in parthenocarpic F1 cucumber hybrids and to identify the most promising combinations for breeding practice. The study was conducted in a greenhouse of the Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS in 2021–2025. Hybrids yielded 14.6–22.8 kg/m²; the marketability ranged from 76 to 90%; and the average fruit weight was 82–91 g. The predominance of non-additive genetic

ARTICLE HISTORY. Received: April 12, 2026; revised: April 14, 2026; accepted: April 24, 2026.

CITATION. Radchenko, L. O., Serhiienko, O. V., Solodovnyk, L. D., Nemchenko, S. O., & Harbovska, T. M. (2026). Heterosis and dominance degree for valuable economic traits in F1 cucumber hybrids grown in a greenhouse. *Plant Breeding and Seed Production*, (129), 65–76. <https://doi.org/10.30835/2413-7510.2026.129.05>

© Radchenko L. O., Serhiienko O. V., Solodovnyk L. D., Nemchenko S. O., Harbovska T. M., 2026

effects ($hp > 1$) for yield traits was noted. The heterosis level for yield varied within 84–120%. The highest effect (120%) and pronounced overdominance ($hp = 7.3$) were found in the F_1 hybrid ‘Kuzia / Park’. Heterosis for marketability ($X = 91–106\%$) and earliness ($X = 94–106\%$) indicate the prevalence of additive or partially dominant inheritance of these traits. PCA confirmed the dominant contribution of yield to the overall phenotypic variability of the studied genotypes. After standardizing the indicators (Z_{ij}) within the experiment, the cumulative index, i.e. breeding value, was calculated as the sum of weighted standardized values. The highest index was recorded for F_1 ‘Park / Kuzia’ (0.948) and F_1 ‘Kuzia / Park’ (0.936), indicating their high complex value. Combinations involving the lines ‘Kuzia’, ‘No. 11’, and ‘Park’ had the highest heterosis and overdominance for the studied traits, confirming their usefulness as sources of high combining ability in the breeding of intensive greenhouse hybrids. Thus, the complex application of several parameters (heterosis, dominance degree, and breeding value) and multivariate analysis allows for the justified identification of promising genotypes for developing competitive cucumber hybrids. The combination of lines with a high complex value and sources of intensive heterosis creates prerequisites for further improvement of breeding programs.

Key words: *Cucumis sativus*, breeding, yield, marketability, earliness.

Вступ

Огірок (*Cucumis sativus* L.) є однією з основних овочевих культур як відкритого, так і захищеного ґрунту. У сучасному овочівництві значну роль відіграють гібриди першого покоління (F_1), створені з використанням ефекту гетерозису, що забезпечує їх перевагу над батьківськими формами за комплексом цінних господарських ознак (Serhiienko et al., 2022; Dhall et al., 2025). Оцінка прояву гетерозису за ключовими продуктивними ознаками є важливим інструментом підвищення врожайності, якості та однорідності гібридів у комерційному виробництві.

Разом із тим, гетерозис має генотип-специфічний характер і значною мірою залежить від поєднання батьківських форм. У огірка відзначається істотна варіабельність прояву гібридного ефекту, що залежить від генетичної віддаленості батьківських форм, їх комбінаційної здатності та напрямку схрещування (Kumari et al., 2021; Serhiienko et al., 2025). Це зумовлює необхідність комплексного вивчення ефекту гетерозису та ступеня домінування за основними ознаками продуктивності для науково обґрунтованого добору вихідного матеріалу.

Численні дослідження вітчизняних та іноземних авторів свідчать, що гетерозис залишається основним фактором створення високопродуктивних гібридів огірка, особливо в умовах тепличного вирощування, де генетичний потенціал F_1 максимально проявляється. За даними Kaur & Dhall (2017), гетерозис сприяє підвищенню загальної та ранньої врожайності, а також покращенню якості плодів.

Introduction

Cucumber (*Cucumis sativus* L.) is a major vegetable crop cultivated both outdoors and indoors. In current olericulture, first-generation (F_1) hybrids play a pivotal role. These hybrids are developed by exploiting heterosis, which ensures their superiority over parental forms in a complex of agronomically important traits (Serhiienko et al., 2022; Dhall et al., 2025). Evaluating heterosis for key performance components is an essential tool for enhancing yield, quality, and uniformity of hybrids in commercial production.

However, heterosis is genotype-specific and largely depends on the combination of parental forms. In cucumber, significant variability in the hybrid effect is observed; it is determined by genetic distance between parents, their combining ability, and crossing direction (Kumari et al., 2021; Serhiienko et al., 2025). This necessitates comprehensive research into heterosis and dominance degree for primary yield traits to ensure a science-based selection of starting materials.

Numerous studies by domestic and foreign researchers indicate that heterosis remains the fundamental factor in creating high-yielding cucumber hybrids, particularly under greenhouse conditions where the genetic potential of F_1 is maximized. According to Kaur & Dhall (2017), heterosis contributes to increased total and early yield, as well as improved fruit quality. Some hybrids were reported to demonstrate significant heterobeltiosis—exceeding the best parent's yield by up to 68.22%, especially when using monoecious or inbred lines (Dhall et al., 2025; Simi et al., 2018). Preethi et al. (2019) achieved a 6–27% increase in the number of fruits per plant in hybrids compared to their parents. At the same time, negative heterosis for the period until the

Повідомлялося, що деякі гібриди демонструють значний гетеробельтіоз – до 68,22 % перевищення врожайності порівняно з найкращим батьком, особливо при використанні однодомних чи інбредних ліній (Dhall et al., 2025; Simi et al., 2018). Preethi et al. (2019) встановили перевищення кількості плодів на рослині у гібридів на 6–27 % порівняно з батьківськими формами. Водночас негативний гетерозис за тривалістю періоду до першого збору врожаю розглядається як селекційно цінна ознака, що забезпечує ранньостиглість і підвищення ринкової привабливості продукції.

Рівень гетерозису суттєво варіює залежно від генотипу батьківських форм і умов вирощування. У тепличних умовах регульовані фактори середовища (температура, вологість, освітлення) мінімізують екологічну варіабельність і створюють сприятливі умови для оцінки генетичних ефектів (Kravchenko et al., 2008; Serhiienko et al., 2026).

Ступінь домінування (hp) є інформативним показником для характеристики дії генів, що лежать в основі гетерозису. Значення $hp > 1$ вказують на надмірне домінування (наддомінування), тоді як значення, близькі до нуля, відображають адитивні ефекти. Виявлення гібридів із вираженим наддомінуванням має важливе значення для створення високопродуктивних і стабільних тепличних форм. Разом із тим, в літературі наявні суперечливі дані щодо впливу реципрокних схрещувань і генотипних особливостей батьків на прояв гетерозису, що обмежує можливості прогнозування селекційного ефекту. Окремі автори вказують на переважання позитивного наддомінування за урожайністю, тоді як інші відзначають випадки часткового домінування або навіть гетерозисної депресії, особливо за товарністю та якістю плодів (Lytun & Proskurnyn, 1992; Herath et al., 2021).

У зв'язку з цим актуальним є дослідження ступеня домінування та ефекту гетерозису нових гібридів огірка для відбору найбільш перспективних комбінацій для подальшої селекції та впровадження у виробництво.

Мета дослідження – оцінити прояв гетерозису та ступінь домінування за ознаками врожайності у гібридів партенокарпового огірка F_1 в умовах захищеного ґрунту.

Методика

Дослідження проводили протягом 2021–2025 рр. на базі Інституту овочівництва і баштанництва НААН (Харківська область). Об'єктом досліджень були гібриди F_1 огірка, які

first harvest is considered a valuable breeding trait, as it ensures earliness and enhances the market appeal of the produce.

Heterosis level varies significantly depending on the parental genotypes and growing conditions. In greenhouses, controlled factors (temperature, humidity, illumination) minimize environmental variability, creating favorable conditions for evaluating genetic effects (Kravchenko et al., 2008; Serhiienko et al., 2026).

The dominance degree (hp) is an informative indicator for characterizing the gene action underlying heterosis. Values of $hp > 1$ indicate overdominance, while values close to zero reflect additive effects. Identifying hybrids with pronounced overdominance is crucial for developing high-yielding and stable greenhouse forms. However, the literature contains conflicting data regarding the impact of reciprocal crosses and the genotypic characteristics of parents on heterosis, which limits our ability to predict breeding effects. Some authors point to the predominance of positive overdominance for yield, while others note cases of partial dominance or even heterotic depression, particularly regarding marketability and fruit quality (Lytun & Proskurnyn, 1992; Herath et al., 2021).

Therefore, investigating the dominance degree and heterosis in new cucumber hybrids is highly relevant for selecting the most promising combinations for further breeding and commercial introduction.

The purpose of this study was to evaluate the heterosis and dominance degree for yield traits in parthenocarpic F_1 cucumber hybrids grown in a greenhouse.

Methods

The study was conducted at the Institute of Vegetable and Melon Growing of NAAS (Kharkivska Oblast) in 2021–2025. We studied F_1 cucumber hybrids derived by crossing six

були отримані шляхом схрещування 6 інбредних ліній селекції ІОБ НААН: Кузя, Парк, №11, Лор, Арт, Зелений поток (селекції ІОБ НААН). Як стандарти використовували гібриди Лірик F1 St1 (ІОБ НААН) та Кібрія F1 St2 (Нідерланди).

Технологія вирощування відповідала загальноприйнятим рекомендаціям (Chernyshenko et al., 2017). Збір плодів проводили вручну через добу згідно з чинними вимогами стандарту ДСТУ UNECE FFV-15:2012 (2012). Оцінку гібридів здійснювали за показниками урожайності (кг/м²), товарності (%) та середньої маси плоду (г) відповідно до методики випробування на відмінність, однорідність і стабільність (ВОС) (2004).

Ефект гетерозису визначали як відхилення показників гібридів F1 відносно кращого з батьків та стандартів (Acquaah, 2012). Ступінь домінування (hp) розраховували за формулою Griffing для кількісних ознак (Griffing, 1956).

Для оцінки структури взаємозв'язків між цінними господарськими ознаками та виявлення основних джерел фенотипової варіабельності застосовано аналіз головних компонент (Principal Component Analysis, PCA). Інтерпретацію здійснювали за величиною власних значень та факторних навантажень. Графічну візуалізацію результатів представлено у вигляді біплоту першої та другої головних компонент.

З метою комплексної оцінки генотипів розраховано інтегральний індекс селекційної цінності (ІСЦ). Індекс визначали на основі стандартизованих значень показників (Z-score), отриманих у межах досліджуваної вибірки. Вагові коефіцієнти встановлено з урахуванням селекційної значущості ознак і становили відповідно 0,4 – урожайність; 0,3 – продуктивність; 0,2 – товарність та 0,1 – скоростиглість. ІСЦ обчислювали як суму добутків стандартизованих значень показників на відповідні вагові коефіцієнти (Mendes et al., 2009).

Статистичну обробку результатів здійснювали методом дисперсійного аналізу (ANOVA). Значимість різниць оцінювали за критерієм найменшої істотної різниці (LSD) при рівнях значущості $p \leq 0,05$ та $p \leq 0,01$.

Результати та обговорення

Результати сортовипробування свідчать про значний розподіл гібридів F1 за комплексом цінних господарських ознак, що зумовлено генетичною специфікою батьківських

inbred lines from the Institute's breeding program: 'Kuzia', 'Park', 'No. 11', 'Lor', 'Art', and 'Zelenyi Potok'. The hybrids 'Liryk F1' (Ukraine) and 'Kybria F1' (Netherlands) were used as check hybrids (CH₁ and CH₂, respectively)

The cultivation technology followed conventional guidelines (Chernyshenko et al., 2017). Cucumbers were harvested manually every 1 day in accordance with the current requirements of DSTU UNECE FFV-15:2012 (2012). The hybrids were evaluated for yield (kg/m²), marketability (%), and average fruit weight (g) according to the methods for testing for Distinctness, Uniformity, and Stability (DUS) (2004).

The heterosis effect was determined as the deviation of F₁ hybrid performance relative to the better parent and the check hybrids (Acquaah, 2012). The dominance degree (hp) was calculated using Griffing's formula for quantitative traits (Griffing, 1956).

To evaluate relationships between agronomically important traits and to identify the primary sources of phenotypic variability, Principal Component Analysis (PCA) was applied. Interpretation was based on eigenvalues and factor loadings. Results were visualized as a biplot of the first and second principal components.

For a comprehensive assessment of genotypes, the integral index, i.e. breeding value (BV), was calculated. This index was based on standardized values (Z-scores) obtained within the studied sample. Weighting coefficients were established according to the breeding significance of the traits: 0.4 for yield; 0.3 for productivity; 0.2 for marketability; and 0.1 for earliness. The BV was calculated as the sum of the products of standardized trait values and their corresponding weighting coefficients (Mendes et al., 2009).

Statistical processing was performed using Analysis of Variance (ANOVA). The significance of differences was evaluated using the Least Significant Difference (LSD) test at significance levels of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$.

Results and Discussion

The trial results indicate a significant distribution of F₁ hybrids across several agronomically important traits, driven by the genetic specificity of the parental components

компонентів (табл. 1). Результати дисперсійного аналізу засвідчили наявність значимих відмінностей між досліджуваними гібридами F₁ за досліджуваними ознаками ($p \leq 0,05$), що підтверджує суттєвий вплив генотипу на формування продуктивності.

(Table 1). ANOVA results revealed significant differences among the studied F₁ hybrids for the evaluated traits ($p \leq 0.05$), confirming the substantial influence of genotype on performance.

Таблиця 1. Характеристика гібридів F₁ огірка за цінними господарськими ознаками в сортовипробуванні (середнє за 2021–2025 рр.)

Table 1. Important agronomic traits of the F₁ cucumber hybrids in trials (average for 2021-2025)

Гібрид / Hybrid	Урожайність / Yield			Товарність, % / Marketability, %	Середня маса товарного плоду, г / Mean marketable fruit weight, g
	кг/м ² / kg/m ²	% до St ₁ / % related to the check hybrid-1	% до St ₂ / % related to the check hybrid-2		
Лірик F ₁ (St ₁) / Liryk F ₁ (check hybrid-1)	20.4	100	-	85	83
Кібрія F ₁ (St ₂) / Kibriia F ₁ (check hybrid-2)	16.1	-	100	80	83
F ₁ (Парк / Кузя) / F ₁ (Park / Kuzia)	19.3	95	120	88	87
F ₁ (Кузя / Парк) / F ₁ (Kuzia / Park)	22.1	109	138	89	86
F ₁ (№11 / Кузя) / F ₁ (№11 / Kuzia)	22.6	111	140	87	84
F ₁ (Кузя / №11) / F ₁ (Kuzia / №11)	22.8	112	142	90	82
F ₁ (Лор / Арт) / F ₁ (Lor / Art)	15.6	77	97	76	89
F ₁ (Арт / Лор) / F ₁ (Art / Lor)	14.6	72	91	77	91
F ₁ (Лор / Зел. пот.) / F ₁ (Lor / Zel. pot.)	16.1	79	100	80	87
F ₁ (Зел.пот. / Лор) / F ₁ (Zel.pot. / Lor)	19.3	95	120	85	84
CV, %	8.2	-	-	5.6	6.4
HP _{0,05} / LSD _{0,05}	1.6	-	-	4.5	5.8

Примітка: вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: significant at $p \leq 0.05$.

Урожайність у стандарту Лірик F₁ (St₁) становила 20,4 кг/м², тоді як Кібрія F₁ (St₂) – 16,1 кг/м². Найвищі показники отримано у гібридів: F₁ (Кузя / №11) – 22,8 кг/м², F₁ (№11 / Кузя) – 22,6 кг/м² та F₁ (Кузя / Парк) – 22,1 кг/м², що перевищувало стандарт Лірик F₁ на 9–12% ($p \leq 0,05$) та Кібрию F₁ – на 38–42% ($p \leq 0,01$). Суттєво найнижчі показники урожайності ($p \leq 0,05$) відзначено у гібридів за участю ліній Лор та Арт.

Відсоток товарності плодів варіював в межах 76–90% у порівнянні зі стандартами 80–85%. Максимальне значення (90%) виявлено у гібрида F₁ (Кузя / №11), що підтверджує поєднання високої врожайності з високою

The yield of ‘Liryk F₁’ (St₁) was 20.4 kg/m², while ‘Kybria F₁’ (St₂) yielded 16.1 kg/m². The highest yields were harvested from the F₁ hybrids ‘Kuzia / No. 11’ (22.8 kg/m²), ‘No. 11 / Kuzia’ (22.6 kg/m²), and ‘Kuzia / Park’ (22.1 kg/m²). They outyielded ‘Liryk F₁’ by 9–12% ($p \leq 0.05$) and ‘Kybria F₁’ by 38–42% ($p \leq 0.01$). Significantly lower yields ($p \leq 0.05$) were harvested from hybrids originating from ‘Lor’ and ‘Art’.

The fruit marketability ranged from 76% to 90%, compared to 80–85% for the check hybrids. The maximum marketability (90%) was documented for ‘Kuzia / No. 11’, confirming the

часткою стандартної продукції. Водночас у гібридів F1 (Лор / Арт) та F1 (Арт / Лор) товарність знижувалася до 76–77% ($p \leq 0,05$), що поєднувалося з низькою урожайністю (14,6–15,6 кг/м²).

Середня маса плоду варіювала у межах 82–91 г. Найбільші показники характерні для гібридів за участю лінії Арт (до 91 г), що дозволяє розглядати її як потенційне джерело ознаки крупноплідності. Водночас гібриди з максимальною врожайністю формували плоди 82–84 г, що відповідає вимогам товарного корнішонного типу.

Таким чином, статистичний аналіз підтвердив істотний вплив генотипу на формування продуктивності та якості плодів. Комбінації за участю ліній Кузя та №11 істотно перевищували стандарти за урожайністю без зниження товарності, що обґрунтовує їх використання як батьківських компонентів при створенні високопродуктивних гібридів F1 інтенсивного типу.

Після комплексної оцінки проведено аналіз прояву ефекту гетерозису і характеру успадкування основних цінних господарських ознак у гібридів F1 огірка (табл. 2).

combination of high yield with a high proportion of standard produce. Conversely, in ‘Lor / Art’ and ‘Art / Lor’, the marketability decreased to 76–77% ($p \leq 0.05$), which was associated with low yields (14.6–15.6 kg/m²).

The average fruit weight varied between 82 and 91 g. The highest weights were intrinsic to hybrids derived from ‘Art’ (up to 91 g), allowing it to be considered a potential source of the large-fruit trait. At the same time, the hybrids with maximum yields formed fruits weighing 82–84 g, which meets the requirements to commercial gherkins.

Thus, statistical analysis confirmed the significant influence of genotype on fruit productivity and quality. Combinations with ‘Kuzia’ and ‘No. 11’ were significantly superior to the check hybrids in terms of yield without a decline in marketability, justifying their use as parental components in creating high-yielding intensive F₁ hybrids.

Following the comprehensive evaluation, the heterosis effect and inheritance patterns for the main agronomically important traits in the F₁ cucumber hybrids were analyzed (Table 2).

Таблиця 2. Ефект гетерозису та ступінь домінування гібридів F1 огірка за господарсько-ціними ознаками (середнє за 2021–2025 рр.)

Table 2. Heterosis effect and degree of dominance of F1 cucumber hybrids based on agronomic traits (average for 2021-2025)

Гібрид / Hybrid	Урожайність / Yield		Товарність / Marketability		Скоростиглість / Earliness	
	hp	X,%	hp	X,%	hp	X,%
F ₁ (Парк / Кузя) / F ₁ (Park / Kuzia)	1.4	101	-1.6	98	1.0	101
F ₁ (Кузя / Парк) / F ₁ (Kuzia / Park)	7.3	120	1.2	101	0.3	100
F ₁ (№11 / Кузя) / F ₁ (№11 / Kuzia)	2.5	114	-3.3	96	-0.8	94
F ₁ (Кузя / №11) / F ₁ (Kuzia / №11)	2.5	114	3.6	102	0.3	95
F ₁ (Лор / Арт) / F ₁ (Lor / Art)	-1.5	90	-3.0	91	1.5	103
F ₁ (Арт / Лор) / F ₁ (Art / Lor)	-2.7	84	-0.7	97	0.9	101
F ₁ (Лор / Зел. пот.) / F ₁ (Lor / Zel. pot.)	-1.6	88	-0.3	95	2.4	106
F ₁ (Зел.пот. / Лор) / F ₁ (Zel.pot. / Lor)	2.2	107	2.2	106	-0.2	99

Примітка: вірогідно при $p \leq 0.05$.

Note: significant at $p \leq 0.05$.

Встановлено суттєву диференціацію комбінацій за напрямом і силою гетерозисної реакції залежно від ознаки. Отримані результати підтверджують загальну закономірність, встановлену сучасними дослідженнями гетерозису огірка, згідно з якою гібриди F₁ здатні суттєво перевищувати батьківські форми за комплексом продуктивних показників. За даними Bhutia et al. (2017), Kumari et al. (2017), Simi et al. (2018), гетерозис у огірка найчастіше проявляється за врожайністю, скоростиглістю та масою плоду, що повністю узгоджується з результатами наших досліджень.

За показником урожайності більшість перспективних комбінацій характеризувалася позитивним наддомінуванням ($hp > 1$), що свідчить про виражений гетерозисний ефект ($X = 107\text{--}120\%$). Найвищий рівень гетерозису ($X = 120\%$, $hp = 7,3$) встановлено у гібрида F₁ (Кузя / Парк), що поєднувалося з високою урожайністю (22,1 кг/м²) та вказує на суттєву перевагу гібридного потомства над кращим із батьків. Подібні значення відповідають результатам Kumari et al. (2024, 2025), де гетерозис за врожайністю перевищував 100%. Високий позитивний ефект гетерозису відзначено у гібридів: F₁ (№11 / Кузя) ($X = 114\%$; $hp = 2,5$), F₁ (Кузя / №11) ($X = 114\%$; $hp = 2,5$) та F₁ (Зел.пот. / Лор) ($X = 107\%$; $hp = 2,2$). Високі значення ступеня домінування свідчать про переважання неадитивної генетичної дії, що підтверджує висновки Patil et al. (2024) та Ene et al. (2019) щодо ролі наддомінування у формуванні продуктивності огірка. Натомість гібриди за участю ліній Лор та Арт виявляли гетерозисну депресію ($X = 84\text{--}90\%$; $hp < 0$). Наші висновки узгоджуються з результатами Bisht et al. (2025), які пов'язують негативний гетерозис із недостатньою генетичною дистанцією між батьківськими формами або несприятливими алельними взаємодіями. Подібний розмах варіювання відповідає результатам Malav et al. (2018) та Kumari et al. (2025), які відзначали значні коливання гетеробельтіозу в огірка.

За показником товарності характер прояву гетерозису був різноспрямованим. Позитивний ефект гетерозису відзначено у гібридів F₁ (Кузя / Парк) ($X = 101\%$; $hp = 1,2$), F₁ (Кузя / №11) ($X = 102\%$; $hp = 3,6$) та F₁ (Зел. пот. / Лор) ($X = 106\%$; $hp = 2,2$). У частини гібридів спостерігалася часткове домінування або незначна депресія ($X = 91\text{--}98\%$), що свідчить про складну полігенну природу ознаки та значний вплив адитивного характеру успадкування.

There was a considerable differentiation of combinations based on the direction and strength of the heterotic response depending on the trait. The results confirm a general pattern established in recent studies on heterotic cucumbers, stating that F₁ hybrids can significantly exceed parental forms in several performance indicators. According to Bhutia et al. (2017), Kumari et al. (2017), and Simi et al. (2018), heterosis in cucumber most often manifests in yield, earliness, and fruit weight, which is fully consistent with our findings.

In terms of yield, most promising combinations were characterized by positive overdominance ($hp > 1$), indicating a pronounced heterotic effect ($X = 107\text{--}120\%$). The highest level of heterosis ($X = 120\%$, $hp = 7.3$) was recorded for 'Kuzia / Park' and was combined with a high yield of 22.1 kg/m², indicates a substantial superiority of the hybrid over the better parent. These results are in agreement with those of Kumari et al. (2024, 2025) who reported about heterosis for yield exceeding 100%. A strong positive heterotic effect was also noted in 'No. 11 / Kuzia' ($X = 114\%$; $hp = 2.5$), 'Kuzia / No. 11' ($X = 114\%$; $hp = 2.5$), and 'Zelenyi Potok / Lor' ($X = 107\%$; $hp = 2.2$). High dominance degree indicates the predominance of non-additive genetic action, confirming the conclusions of Patil et al. (2024) and Ene et al. (2019) regarding the role of overdominance in cucumber performance. In contrast, hybrids originating from 'Lor' and 'Art' exhibited heterotic depression ($X = 84\text{--}90\%$; $hp < 0$). Our findings align with the results of Bisht et al. (2025), who link negative heterosis to insufficient genetic distance between parents or unfavorable allelic interactions. Such a range of variation is consistent with the results of Malav et al. (2018) and Kumari et al. (2025), who noted significant fluctuations in heterobeltiosis in cucumber.

As to fruit marketability, the heterosis manifestation was multidirectional. There was a positive heterotic effect in 'Kuzia / Park' ($X = 101\%$; $hp = 1.2$), 'Kuzia / No. 11' ($X = 102\%$; $hp = 3.6$), and 'Zelenyi Potok / Lor' ($X = 106\%$; $hp = 2.2$). In some hybrids, partial dominance or minor depression was observed ($X = 91\text{--}98\%$), indicating a complex polygenic nature of the trait and the significant influence of additive

Загалом товарність виявилася більш стабільною ознакою з меншим розмахом варіювання ступеня домінування порівняно з урожайністю. Подібні результати відзначали Thapliyal et al. (2023), які встановили варіювання стандартного гетерозису за врожайністю до +45,9%, тоді як за якісними ознаками ефект був меншим.

За скоростиглістю більшість гібридів мали незначний позитивний ефект гетерозису ($X = 100\text{--}106\%$), який здебільшого мав характер часткового домінування ($h_p = -0,8\text{...}2,4$). Найкращі показники отримано у гібридів F1 (Лор / Зел. пот.) ($X = 106\%$; $h_p = 2,4$) та F1 (Лор / Арт) ($X = 103\%$; $h_p = 1,5$), що свідчить про прискорене формування врожаю. У гібридів за участю лінії №11 спостерігалася тенденція до деякого зниження скоростиглості ($X = 94\text{--}95\%$), що може вказувати на наявність антагонізму між ранньостиглістю та високою продуктивністю. Подібні переваги жіночого типу цвітіння для формування раннього врожаю встановлені у роботі Bhutia et al. (2017).

Виявлене переважання наддомінування за урожайністю і продуктивністю, що опосередковано свідчить про високий рівень специфічної взаємодії генотипів і відповідає результатам Abd Rabou (2020) та Ene et al. (2019). Поєднання ліній Кузя, №11 і Парк у наших дослідженнях забезпечило високий рівень специфічної взаємодії, що відповідає концепції оптимальної генетичної дистанції між батьківськими формами.

Проведений PCA-аналіз показав, що перша головна компонента (PC1) пояснює близько 80% загальної варіації та тісно пов'язана з показниками урожайності й рівнем гетерозису, тоді як друга компонента (PC2), на яку припадає близько 14% мінливості, асоційована переважно із середньою масою плоду (рис.1). Такий розподіл підтверджує домінуючу роль гетерозисної продуктивності у формуванні загальної мінливості та узгоджується з класичними уявленнями про переважання неадитивних генетичних ефектів у контролі врожайності (Kumari et al., 2024; Patil et al., 2024). Результати аналізу показують, що гібриди з високим ступенем домінування та ефектом гетерозису (Кузя / №11; Кузя / Парк) розміщені у правому секторі PC1, що підтверджує, що перша головна компонента відображає саме гетерозисну продуктивність. Гібрид F1 (Лор / Арт) розташований у протилежному секторі, що узгоджується з їх негативним ступенем домінування та проявом гетерозисної депресії.

Таким чином, PCA-аналіз PCA продемонстрував узгодженість варіаційної

inheritance. Overall, marketability appeared to be a more stable trait with a narrower range of dominance degree variation compared to yield. Similar findings were reported by Thapliyal et al. (2023), who found that standard heterosis for yield varied up to +45.9%, while the effect on quality traits was less pronounced.

Regarding earliness, most hybrids exhibited a slight positive heterotic effect ($X = 100\text{--}106\%$), which primarily took the form of partial dominance ($h_p = -0.8\text{...}2.4$). The best results were recorded for 'Lor / Zelenyi Potok' ($X = 106\%$; $h_p = 2.4$) and 'Lor / Art' ($X = 103\%$; $h_p = 1.5$), indicating accelerated crop formation. In hybrids derived from 'No. 11', there was a downward trend in earliness ($X = 94\text{--}95\%$), which may suggest an antagonism between early maturity and high productivity. Similar advantages of female flowering for early yield formation were noted by Bhutia et al. (2017).

The identified predominance of overdominance for yield and performance indirectly indicates a high level of specific genotype interaction and aligns with the findings of Abd Rabou (2020) and Ene et al. (2019). In our study, the combinations of 'Kuzia', 'No. 11', and 'Park' ensured a high level of specific interaction, corresponding to the concept of optimal genetic distance between parents.

The PCA showed that the first principal component (PC1) accounts for about 80% of the total variation and is closely related to yield and heterosis levels. Meanwhile, the second component (PC2), accounting for approximately 14% of the variability, is primarily associated with average fruit weight (Fig. 1). This distribution confirms the dominant role of heterotic productivity in shaping overall variability and is consistent with classical views on the predominance of non-additive genetic effects in yield control (Kumari et al., 2024; Patil et al., 2024). The analysis results show that hybrids with a high dominance degree and heterosis effect ('Kuzia / No. 11'; 'Kuzia / Park') are located in the right sector of PC1, confirming that the first principal component reflects heterotic productivity. 'Lor / Art' is situated in the opposite sector, consistent with its negative dominance degree and heterotic depression.

Thus, PCA demonstrated consistency between the variation structure of the traits and heterosis levels in yield formation, a clear

структури ознак із показниками гетерозису у формуванні врожайності, чітку кластеризацію гібридів за рівнем гетерозису та розмежування високопродуктивних і депресивних комбінацій.

clustering of hybrids by heterosis level, and a distinct differentiation between high-yielding and depressive combinations.

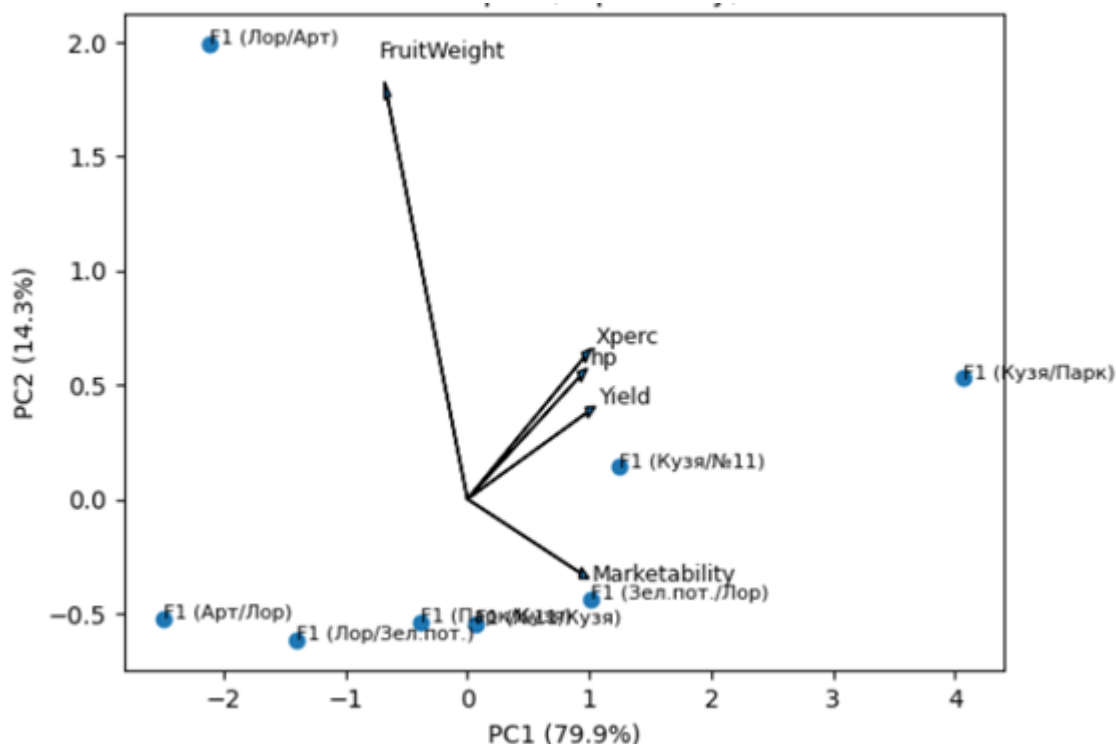


Рис. 1. Біплот-аналіз головних компонент (PCA), що відображає взаємозв'язок між господарсько-цінними ознаками та просторове розміщення гібридів F₁ огірка (2021–2025 рр.)

Fig. 1. Principal component analysis (PCA) biplot visualizing the relationship between economically important traits and the spatial distribution of F₁ cucumber hybrids (2021–2025)

Отже, результати аналізу засвідчили системний характер прояву гетерозису у перспективних поєднаннях. Найбільш цінними подальшої для селекції є гібриди: F₁ (Кузя / №11), F₁ (№11 / Кузя), F₁ (Кузя / Парк), що свідчить про високу специфічну комбінаційну здатність ліній Кузя та №11. Загалом встановлено, що урожайність і продуктивність контролюються переважно неадитивними генетичними ефектами, тоді як товарність і скоростиглість мають більш адитивний характер успадкування.

Дані щодо урожайності, товарності та скоростиглості гібридів F₁ були стандартизовані (Z_{ij}) у межах досліджуваної вибірки. На основі суми стандартизованих значень з урахуванням вагових коефіцієнтів розраховано інтегральний індекс селекційної цінності (ІСЦ) (табл. 3). Встановлено, що отриманий індекс дозволяє ефективно ідентифікувати та відбирати найбільш цінні генотипи за комплексом господарсько-цінних ознак. Найвищі значення індексу встановлено у гібридів за участю ліній Кузя та №11, що

Thus, the analysis results demonstrated the systemic nature of heterosis manifestation in promising combinations. The most valuable F₁ hybrids for further breeding are 'Kuzia / No. 11', 'No. 11 / Kuzia', and 'Kuzia / Park', indicating the high specific combining ability of 'Kuzia' and 'No. 11'. Overall, it was established that yield and performance are primarily controlled by non-additive genetic effects, while marketability and earliness exhibit a more additive inheritance pattern.

Data on the yield, marketability, and earliness of the F₁ hybrids were standardized (Z-scores) within the studied sample. Based on the sum of standardized values and considering the weighting coefficients, the integral index (breeding value, BV) was calculated (Table 3). It was established that this index allows for the effective identification and selection of the most valuable genotypes based on a set of economically important traits. The highest index values were detected in hybrids obtained from 'Kuzia' and 'No. 11', confirming their high

підтверджує їх високу селекційну перспективність та доцільність подальшого використання у гібридизації. Гібриди F₁ (Лор / Зел.пот.) і F₁ (Зел. пот. / Лор) мали мінімальне значення індексу, що узгоджується з результатами аналізу гетерозису та PCA-аналізу і свідчить про низький рівень реалізації продуктивного потенціалу.

Отримані результати підтверджують системний характер виявлених закономірностей і узгоджуються з даними гетерозисного та багатовимірного статистичного аналізу.

breeding potential and the feasibility of their further use in hybridization. ‘Lor / Zelenyi Potok’ and ‘Zelenyi Potok / Lor’ had the minimum index values, which aligns with the results of the heterosis and PCA analyses and indicates a low level of productive potential realization.

The obtained results confirm the systemic nature of the identified patterns and are consistent with the data from the heterosis and multivariate statistical analyses.

Таблиця 3. Інтегральний індекс селекційної цінності гібридів F₁ огірка (2021-2025 рр.)

Table 3. Breeding value for F₁ cucumber hybrids (2021–2025)

Гібрид / Hybrid	ІЦІ / BV	Ранг / Range
F ₁ (Парк / Кузя) / F ₁ (Park / Kuzia)	0,948	1
F ₁ (Кузя / Парк) / F ₁ (Kuzia / Park)	0,936	2
F ₁ (№11 / Кузя) / F ₁ (№11 / Kuzia)	0,389	3
F ₁ (Кузя / №11) / F ₁ (Kuzia / №11)	0,156	4
F ₁ (Лор / Арт) / F ₁ (Lor / Art)	0,038	5
F ₁ (Арт / Лор) / F ₁ (Art / Lor)	-0,752	6
F ₁ (Лор / Зел.пот.) / F ₁ (Lor / Zel. pot.)	-0,806	7
F ₁ (Зел. пот. / Лор) / F ₁ (Zel.pot. / Lor)	-0,910	8

Висновки

У результаті досліджень встановлено значну диференціацію гібридів F₁ огірка за рівнем прояву цінних господарських ознак і характером їх успадкування. За врожайністю та продуктивністю більшість перспективних комбінацій виявили виражений гетерозис ($X = 107-120\%$) із переважанням наддомінування, що свідчить про провідну роль неадитивних генетичних ефектів.

PCA-аналіз підтвердив, що основну частку варіації (80%) формує гетерозисна продуктивність, чітко розмежовуючи високопродуктивні та депресивні комбінації. Ранжування за інтегральним індексом селекційної цінності дозволило виокремити найбільш перспективні гібриди – F₁ (Кузя / Парк), F₁ (Кузя / №11), F₁ (№11 / Кузя). Встановлено, що врожайність контролюється переважно неадитивними ефектами, тоді як товарність і скоростиглість мають більш адитивний характер успадкування.

Лінії Кузя та №11 рекомендовані як цінні джерела для створення високопродуктивних гібридів інтенсивного типу, оскільки виявили високу комбінаційну цінність за більшістю ознак, особливо у поєднаннях між собою та з лінією Парк. Гібриди за участю ліній Лор і Арт

Conclusions

The study demonstrated a significant differentiation in the expression of agronomically important traits and their inheritance patterns among F₁ cucumber hybrids. For yield and performance, most promising combinations exhibited pronounced heterosis ($X = 107-120\%$) with a predominance of overdominance, indicating the leading role of non-additive genetic effects.

The PCA confirmed that the major portion of the variation (80%) is attributed to heterotic productivity, clearly distinguishing between high-yielding and depressive combinations. Ranking by the cumulative integral index (breeding value) allowed for the identification of the most promising F₁ hybrids ‘Kuzia / Park’, ‘Kuzia / No. 11’, and ‘No. 11 / Kuzia. It was found that yield is primarily controlled by non-additive effects, while marketability and earliness exhibit a more additive inheritance pattern.

The lines ‘Kuzia’ and ‘No. 11’ are recommended as valuable sources for developing high-yielding intensive hybrids, as they demonstrated high combining ability across most traits, especially in combinations with each other and with the line ‘Park’. The hybrids derived

виявили гетерозисну депресію та мають обмежену селекційну перспективність.

Таким чином, результати не лише підтверджують дані світових досліджень, а й доповнюють їх у контексті тепличного вирощування партенокарпічних гібридів, формуючи практичні рекомендації для подальшої селекційної роботи.

Заява про доступність даних: Основні дані включені до статті. Дані, що підтверджують результати цього дослідження, доступні при зверненні до автора для кореспонденції.

Використання штучного інтелекту (ШІ): При виконанні роботи генеративний штучний інтелект не використовувався.

Відповідність етичним стандартам: Стаття не містить будь-яких досліджень з використанням людей і тварин як об'єктів.

Конфлікт інтересів: Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Фінансування: Робота виконана в рамках ПНД НААН 20 «Овочівництво і баштанництво» за завданням 20.00.01.06. Ф «Розроблення методичних підходів для використання стійких до стресових факторів зовнішнього середовища ліній та створення толерантного гетерозисного гібриду огірка з високою адаптивною здатністю».

from 'Lor' and 'Art' showed heterotic depression and have limited breeding potential.

Thus, the results not only confirm the global findings but also complement them in the context of greenhouse cultivation of parthenocarpic hybrids, providing operational recommendations for further breeding practice.

Data Availability Statement: The basic data are included in the article. The data that support the findings of this study are available from the corresponding author.

Use of Artificial Intelligence (AI): No generative artificial intelligence was used during the preparation of this paper.

Compliance with Ethical Standards: This article does not contain any studies involving human participants or animals as subjects.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: This study was conducted within the NAAS Scientific Research Program 20 "Vegetable and Melon Growing," project No. 20.00.01.06.F: "Development of Methodical Approaches for Using Lines Resistant to Environmental Stressors and Creating a Tolerant Heterotic Cucumber Hybrid with High Adaptive Capacity."

References

- Abd Rabou, A. M. (2020). Heterosis and combining ability in cucumber under salt condition. *Plant*, 20(2), 9643–9650.
- Acquaah, G. (2012). *Principles of plant genetics and breeding* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- Bhutia, T. L., Munshi, A. D., Behera, T. K., Sureja, A. K., & Lal, S. K. (2017). Combining ability for yield and yield related traits and its relationship with gene action in cucumber. *Indian Journal of Horticulture*, 74(1), 51–55. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2017.00013.5>
- Bisht, Y. S., Singh, D. K., Bhatt, R., Rawat, A. S., Kumar, M., Singh, S. S., & Bisht, C. (2025). Exploitation of heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus*) for earliness and yield contributing traits. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 95(11), 1387–1392. <https://doi.org/10.56093/ijas.v95i11.153972>
- Chernyshenko, V. I., Pashkovskiy, A. Kh., & Kyrii, P. I. (2017). *Modern open-field olericulture technologies*. Kyiv. [in Ukrainian]
- Griffing, B. (1956). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Australian Journal of Biological Sciences*, 9, 463–493.
- Dhall, R. K., Hegde, S. N., Singathiya, P., & Manchanda, P. (2025). Heterotic potential and combining ability for yield and quality attributes in slicing cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Scientific Reports*, 15, 43937. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27768-2>
- DSTU UNECE FFV-15:2012. (2012). *Fresh cucumbers: Specifications*. [in Ukrainian]
- Ene, C. O., Ogbonna, P. E., Agbo, C. U., & Chukwudi, U. P. (2019). Heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Information Processing in Agriculture*, 6(1), 150–157. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2018.07.008>
- Herath, H. M. S. N., Rafii, M. Y., Ismail, S. I., Nakasha, J. J., & Ramlee, S. I. (2021). Improvement of important economic traits in chilli through heterosis breeding: A review. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96, 14–23. <https://doi.org/10.1080/14620316.2020.1780162>
- Kaur, K., & Dhall, R. K. (2017). Heterosis and combining ability for yield and yield attributes in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *SABRAO Journal of Breeding and Genetics*, 49, 94–103.

- Kravchenko, V. A., Prylipka, O. V., & Yanchuk, N. I. (2008). *Cucumber: Breeding, seed production, technologies*. Kyiv. [in Ukrainian]
- Kumari, P., Dhall, R. K., Garg, N., Lnu, R., & Singathiya, P. (2024). Heterosis and combining ability for yield and quality traits in monoecious, gynoeious and parthenocarpic parental lines of cucumber (*Cucumis sativus* L.) under tropical condition. *Euphytica*, 220. <https://doi.org/10.1007/s10681-024-03349-8>
- Kumari, P., Dhall, R. K., Lnu, R., Singathiya, P., Praveen, S., & Manchanda, P. (2025). Studies on heterotic pattern for earliness, yield and quality traits in cucumber. *Tropical Plant Biology*, 18. <https://doi.org/10.1007/s12042-024-09390-0>
- Kumari, R., Kumar, R., & Kumar, S. (2017). Combining ability and heterosis for TSS and seed traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Vegetable Science*, 44(1), 12–17. <https://doi.org/10.61180/5n4j4x71>
- Kumari, R., Kumar, R., & Mehta, D. K. (2021). Expression of heterosis and residual heterosis for traits of earliness and yield in cucumber. *Scientia Horticulturae*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109781>
- Lytun, P. P., & Proskurnyn, N. V. (1992). *Genetics of quantitative traits: Genetic crosses and genetic analysis*. Kyiv. [in Russian]
- Malav, N., Mohan, L. Y., & Maurya, I. B. (2018). Heterosis and combining ability in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 457–460.
- Mendes, F. F., Ramalho, M. A. P., & Abreu, Â. F. B. (2009). Selection index for choosing segregating populations of common bean. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44(10), 1312–1318. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001000015>
- Protection of Plant Variety Rights. (2004). *Methodology for conducting examination of varieties for distinctness, uniformity, and stability (DUS)* (pp. 56–66). Kyiv. [in Ukrainian]
- Patil, N. S., Bhalekar, M. N., Dhakare, B. B., Latke, S. B., & Shinde, G. C. (2024). Heterosis for important quantitative traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Advanced Biochemistry Research*, 8(5), 807–818. <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i5j.1191>
- Preethi, G. P., Anjanappa, M., Ramachandra, R. K., & Vishnuvardhana. (2019). Heterosis studies for yield and quality traits in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(3), 925–932. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.803.110>
- Serhiienko, O. V., Harbovska, T. M., Solodovnyk, L. D., Radchenko, L. O., Chaiuk, O. O., & Nemchenko, S. O. (2025). *Methodological approaches in heterosis breeding of cucumber for stress resilience*. Vinnytsia. <https://doi.org/10.32717/agroscience.book.2025.02> [in Ukrainian]
- Serhiienko, O. V., Shabetia, O. M., Ivchenko, T. V., Harbovska, T. M., Solodovnyk, L. D., & Radchenko, L. O. (2022). Evaluation of new indoor-grown parthenocarpic F1 cucumber hybrids. *Vegetable and Melon Growing*, 71, 25–32. <https://doi.org/10.32717/01310062-2022-71-16-24> [in Ukrainian]
- Serhiienko, O., Radchenko, L., Solodovnyk, L., Nemchenko, S., & Harbovska, T. (2026). New tolerant parthenocarpic cucumber hybrid Miiia F1 for protected ground. *Vegetable and Melon Growing*, 78, 32–41. <https://doi.org/10.32717/0131-0062-2025-78-32-41> [in Ukrainian]
- Simi, F., Ivy, N., Saif, H., Akter, S., & Anik, M. (2018). Heterosis in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 42(4), 731–747. <https://doi.org/10.3329/bjar.v42i4.35801>
- Thapliyal, V., Dhall, R. K., Manchanda, P., & Kaur, H. (2023). Utilizing novel parthenocarpic gynoeious cucumber inbreds for exploiting heterotic potential. *Euphytica*, 219, 1–18. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2635338/v1>