

ДЕРЖАВНА УСТАНОВА ІНСТИТУТ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КУЛИК ОЛЕКСАНДР ВІТАЛІЙОВИЧ

УДК 633.15:631.526.322/.527.52

ДИСЕРТАЦІЯ

**ІДЕНТИФІКАЦІЯ СКОРОСТИГЛОГО ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ
КУКУРУДЗИ ПІВДЕННОГО ЕКОТИПУ ТА НАЙБІЛЬШ
ЕФЕКТИВНИХ ГЕТЕРОЗИСНИХ МОДЕЛЕЙ**

201 – Агрономія

(Аграрні науки та продовольство)

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ О.В. Кулик

Науковий керівник: Черчель Владислав Юрійович, доктор
сільськогосподарських наук, професор, академік НААН України

Дніпро – 2026

АНОТАЦІЯ

Кулик О. В. – Ідентифікація скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи південного екотипу та найбільш ефективних гетерозисних моделей. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 201 – Агрономія. – Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України, Дніпро, 2026.

Актуальність роботи. Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуального наукового завдання сучасної селекції кукурудзи – створенню та ідентифікації скоростиглого вихідного матеріалу південного екотипу, здатного забезпечувати стабільну реалізацію генетичного потенціалу продуктивності в умовах недостатнього та нестабільного зволоження Степу України.

Актуальність дослідження визначається посиленням впливу глобальних кліматичних змін, пов'язаних з підвищенням температурного режиму, збільшенням тривалості посушливих періодів, нерівномірністю розподілу атмосферних опадів на виробництво кукурудзи та зростанням ризиків втрати продуктивності сучасних гібридів. За таких умов особливого значення набуває створення скоростиглих генотипів, які поєднують високу продуктивність, інтенсивну вологовіддачу зерном, технологічність, стійкість до біотичних та абіотичних стресів, стабільність прояву господарсько-цінних ознак.

Метою дослідження було теоретично обґрунтувати та експериментально підтвердити ефективність створення та використання скоростиглого селекційного матеріалу кукурудзи південного екотипу для підвищення стабільності врожайностей зоні Степу, провести його комплексну оцінку за основними селекційними ознаками, визначити особливості формування продуктивності й адаптивності та виявити перспективні гетерозисні моделі для створення нових гібридів.

Дослідження проводили у 2023–2025 рр. у Державній установі Інститут зернових культур НААН України. Об'єктом досліджень були 302 скоростиглі самозапилені сім'ї генерацій S_4 – S_6 , створені на основі сестринських гібридів південного екотипу, їх тесткриси та новостворені міжлінійні гібриди кукурудзи.

Для комплексного оцінювання селекційного матеріалу застосовували польові, лабораторні, біометричні та генетико-статистичні методи досліджень. Оцінювали морфобіологічні і господарсько-цінні ознаки, аналізували структури продуктивності, визначали загальну та специфічну комбінаційну здатність, а також показники адаптивності. Застосовували кореляційний, регресійний, кластерний аналіз та метод головних компонент.

Наукова новизна роботи полягає у комплексній ідентифікації нового скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи південного екотипу за показниками продуктивності, скоростиглості, адаптивності та комбінаційної здатності.

Вперше для інбредних сімей різних генерацій встановлено закономірності формування продуктивності за контрастних гідротермічних умов вирощування, визначено найбільш інформативні морфобіологічні критерії добору, ідентифіковано джерела підвищеної адаптивності та високої комбінаційної здатності.

Удосконалено систему оцінювання скоростиглого селекційного матеріалу шляхом комплексного використання методів кореляційного, регресійного, багатовимірного аналізу та випробування тесткросів, що дозволило встановити взаємозв'язки між структурними компонентами продуктивності, адаптивністю та рівнем прояву гетерозису.

У результаті трирічного оцінювання 302 скоростиглих інбредних сімей встановлено значну генотипову диференціацію за комплексом морфобіологічних та господарсько-цінних ознак. Контрастні погодні умови 2023–2025 рр. дозволили визначити особливості реакції генотипів на абіотичний стрес та виділити джерела стабільності продуктивності.

Визначено вплив стресових умов на основні показники сімей. Встановлено, що середня продуктивність сімей становила 75,5 г/рослину у 2023 р., тоді як за умов посухи в 2024 і 2025 рр. знижувалася до 41,8 та 42,9 г/рослину відповідно. Доведено, що найвищу стійкість в несприятливих умовах вирощування проявили потомства отримані на базі комбінації ДК2815 × ДК247МВ, які знизили продуктивність в середньому лише на 11,5 %. Порівняння зі стандартом ДК315СВЗМ підтвердило високу селекційну цінність нового матеріалу: окремі генотипи перевищували стандарт за продуктивністю на 41,7–71,6 % навіть у посушливих умовах.

Встановлено, що продуктивність селекційних форм в досліді формувалася під впливом комплексу взаємопов'язаних ознак. Найтісніші позитивні кореляції виявлено між продуктивністю та масою 1000 зерен ($r = 0,726$), довжиною качана ($r = 0,604$), кількістю зерен у ряду ($r = 0,557$), висотою прикріплення качана ($r = 0,534$) і висотою рослин ($r = 0,523$). За результатами множинного регресійного аналізу незалежний статистично значущий внесок у формування продуктивності забезпечували довжина качана ($\beta = 0,60$; $p = 0,03$) та діаметр качана ($\beta = 0,29$; $p < 0,001$), що визначає їх як найбільш ефективні критерії селекційного добору.

Методи головних компонент і кластерний аналіз дозволили встановити структуру фенотипової мінливості та виділити групи генотипів із оптимальним поєднанням скоростиглості, продуктивності й адаптивності.

За результатами топкросних випробувань виділено лінії S₆ з високою загальною комбінаційною здатністю та перспективні специфічні комбінації з високим рівнем гетерозису. Комплексне оцінювання тесткросів у контрастних умовах 2024–2025 рр. засвідчило, що комбінації за участю тестера ДК2965С×ДК2329 характеризувалися найбільшою стабільністю продуктивності та адаптивністю.

Встановлено перспективність використання тестерів ДК2239 та ДК4315М×ДК4404 при створенні гібридів з високою інтенсивністю вологовіддачі зерном.

За результатами досліджень рекомендовано використовувати виділені скоростиглі інбредні сім'ї та тесткросні комбінації у селекційних програмах створення адаптивних гібридів кукурудзи для умов Степу України.

Найбільш перспективними для подальшої селекційної роботи визначено генотипи отримані при самозапилені сестринського гібриду ДК2815 × ДК247МВ, як джерела посухостійкості та стабільності продуктивності.

Тестери ДК2239 і ДК4315М×ДК4404 рекомендовано використовувати при селекції скоростиглих гібридів, які характеризуються високою інтенсивністю вологовіддачі зерном та технологічністю. Визначені критерії добору (довжина та діаметр качана, маса 1000 зерен, озерненість качана і стабільність продуктивності за стресових умов) рекомендовано для підвищення ефективності селекційного процесу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у використанні створеного скоростиглого вихідного матеріалу в селекційному процесі для створення нових гетерозисних гібридів кукурудзи. Автор є співавтором скоростиглих гібридів ДН Буча та ДН Явір, які внесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, у 2024 та 2025 рр. відповідно. Створені гібриди ФАО 150–290 характеризуються високою продуктивністю, інтенсивною вологовіддачею зерном та комплексом господарсько-цінних ознак, що забезпечує їх перспективність для вирощування в умовах Степу України. Крім того, за участю автора створено два батьківські компоненти кукурудзи – Крос 252 М та ДК3252СВЗМ, які перебувають на етапі державної реєстрації.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, скоростиглі лінії, південний екотип, інбредні сім'ї, селекційний матеріал, гібридизація, гетерозис, гетерозисні моделі, комбінаційна здатність, адаптивність, морфо-біологічні ознаки, господарсько-цінні ознаки, стійкість до стресових умов, насіння кукурудзи, якість насіння, качани, врожайність.

ANNOTATION

Kulyk O. V. – Identification of early-maturing source material for southern ecotype maize and the most effective heterotic models. – Qualifying scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy (PhD) in specialty 201 – Agronomy. – State Enterprise Institute of Grain Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Dnipro, 2026.

The relevance of this dissertation is determined by the urgency of addressing a key scientific challenge in modern maize breeding: the development and identification of early-maturing source material of the southern ecotype, capable of consistently realising its genetic productivity potential under insufficient and unstable moisture conditions in the Steppe zone of Ukraine.

The relevance of the research is determined by the increasing impact of global climate change on maize production, as evidenced by rising temperatures, longer periods of drought, uneven distribution of rainfall and a growing risk of yield losses in modern hybrids. Under such conditions, the development of early-maturing genotypes that combine high productivity, accelerated grain moisture-yielding ability, suitability for modern cultivation technologies, resistance to abiotic stresses and the stable manifestation of valuable economic traits takes on particular importance.

The research was aimed at theoretically substantiating and experimentally confirming the effectiveness of developing early-maturing maize breeding material of the southern ecotype, to conduct a comprehensive assessment of this material based on morphobiological, agronomic and genetic parameters, to identify patterns in the development of productivity and adaptability, and to develop promising heterosis models for the breeding of new hybrids.

The research was conducted at the State Enterprise Institute of Grain Crops of NAAS of Ukraine in 2023–2025. The research focused on 302 early-maturing,

self-pollinating families of S_4 – S_6 generations, derived from sister hybrids of the southern ecotype, their test crosses and newly developed interline maize hybrids.

Field, laboratory, biometric, and genetic-statistical research methods were applied for the comprehensive assessment of the breeding material. We evaluated morphobiological and valuable economic traits, analysed the structure of productivity, determined general and specific combining ability (GCA and SCA), assessed adaptability, as well as applied correlation, regression and cluster analysis, and the principal component analysis (PCA).

Scientific novelty of the work involves the comprehensive identification of a new generation of early-maturing maize source material of the southern ecotype based on the combination of productivity, early maturity, adaptability, and combining ability.

The patterns governing the formation of productivity under contrasting hydrothermal growing conditions have been established for the first time in the inbred families developed, the most informative morphobiological selection criteria have been determined, and the sources of enhanced adaptability and high combining ability have been identified.

The system for assessing early-maturing breeding material has been improved through the integrated application of correlation, regression and multivariate analysis methods, as well as test cross trials, which has allowed the identification of relationships between the components of productivity, adaptability and the degree of heterosis.

A three-year assessment of 302 early-maturing inbred families revealed significant genotypic differentiation across a range of morphobiological and valuable economic traits. The contrasting weather conditions of 2023–2025 allowed us to identify the specific responses of genotypes to abiotic stress and to pinpoint sources of productivity stability.

The average productivity of the studied families was 75.5 g/plant in 2023, whereas under drought conditions it decreased to 41.8 and 42.9 g/plant in 2024 and 2025, respectively. The highest resistance to adverse environmental conditions was

observed in the offspring of the DK2815 × DK247MV combination. Thus, the decrease in productivity was only 11.5 %, whereas in the offspring of DK2835 × DK247MV this indicator reached 74.4 %. A comparison with the DK315SVZM standard confirmed the high breeding value of the new material: individual genotypes outperformed the standard by 41.7–71.6 % in terms of productivity, even under drought conditions.

The study found that productivity was influenced by a complex of interrelated traits. The closest positive correlations were found between productivity and 1,000-grain weight ($r = 0.726$), ear length ($r = 0.604$), number of grains per row ($r = 0.557$), ear insertion height ($r = 0.534$), and plant height ($r = 0.523$). According to the results of multiple regression analysis, ear length ($\beta = 0.60$; $p = 0.03$) and ear diameter ($\beta = 0.29$; $p < 0.001$) made a statistically significant independent contribution to yield, identifying them as the most effective criteria for selection.

Principal component analysis and cluster analysis allowed us to determine the structure of phenotypic variability and to identify groups of genotypes with an optimal combination of early maturity, productivity and adaptability.

Based on the results of topcross testing, lines with high general combining ability were identified and promising specific combinations with high heterosis manifested were selected. A comprehensive evaluation of test crosses under contrasting conditions of 2024–2025 showed that combinations involving the DK2965C×DK2329 tester were characterized by the highest productivity stability and adaptability. In the favourable 2024, the yield of the test crosses was 5.2–5.7 t/ha, which met or exceeded the yield of DB Khotyn standard (5.6 t/ha), whilst in the dry 2025, the most adaptable combinations provided a yield of up to 2.0 t/ha.

The DK2239 and DK4315M×DK4404 testers were found to be promising sources of early maturity, rapid grain dry-down, and suitability for modern cultivation technologies. The test crosses involving these lines showed the lowest harvest moisture content in the grain, which demonstrates the value of these genotypes in programmes for the development of early-maturing hybrids.

The results of the investigations indicate that the early-maturing inbred families and test cross combinations identified are recommended for use in breeding programmes aimed at developing adaptive maize hybrids for the Steppe region of Ukraine.

Genotypes involving DK2815 × DK247MV were identified as the most promising for further breeding work as sources of drought tolerance and yield stability, alongside combinations using the DK2965C×DK2329 tester for developing high-yielding heterotic models.

The DK2239 and DK4315M×DK4404 testers are recommended for use as sources of early maturity, rapid grain dry-down, and suitability for modern cultivation technologies. The specified selection criteria, such as ear length and diameter, 1,000-grain weight, grain content in the ear and stable productivity under stressful conditions, can be used to accelerate the breeding process for the development of new maize hybrids.

The results obtained are of practical importance, as the early-maturing source material developed in this study can be used in the breeding process for the development of new heterotic maize hybrids. The author is a co-developer of the early-maturing hybrids DN Bucha and DN Yavir, which were entered in the State Register of Plant Varieties Suitable for Dissemination in Ukraine in 2024 and 2025, respectively. The developed hybrids of maturity groups FAO 150–290 are characterized by high productivity, rapid grain moisture-yielding ability, and a complex of valuable economic traits, ensuring their high potential for cultivation in the Steppe zone of Ukraine. Furthermore, two parental maize components, Kros252 M and DK3252SVZM, were developed with the author's participation and are currently undergoing state registration.

Key words: *maize, hybrid, early-maturing lines, southern ecotype, inbred families, selection material, hybridization, heterosis, heterotic models, combining ability, adaptability, morphobiological traits, valuable economic traits, stress resistance, maize seeds, seed quality, ears, yield.*

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації

Статті в наукових фахових виданнях

1. Черчель В. Ю., Кулик О. В. Особливості прояву елементів структури врожаю скоростиглих самозапилених сімей S4–S5 кукурудзи за різних погодних умов. *Зернові культури*. 2025. Том 9. № 2. С. 198–206. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0379>

2. Кулик О. В. Взаємодія генотипу та середовища у визначенні продуктивності скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи (*Zea mays* L.). *Зернові культури*. 2026. Т. 10, № 1. С. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0413>

Статті в наукометричній базі Web of Science

3. Cherchel V., Kulyk O. Evaluation of productivity components and their interrelationships in early-maturing inbred maize families. *Modern Phytomorphology*. 2026. Vol. 20. P. 623–626. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.200623>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. Черчель В. Ю., Кулик О. В. Ідентифікація скоростиглих ліній кукурудзи південного екотипу та їхніх гетерозисних моделей. Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату : матеріали Міжнар. науково-практ. інтернет-конф. молодих уч. і спеціалістів (Дніпро, 16 берез. 2023 р.). Дніпро, 2023. С. 7–8.

Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації

5. А. с. № 250521. Кукурудза звичайна. (*Zea mays* L.). ДН Явір. / Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В., Боденко Н.А., Гайдаш О.Л., Ольховик М.С., Круглова М.О., Купар Ю.Ю., Кулик О.В., Коробко Ю. А., Костенко В.В. (Україна). № 24009040; заяв. 26.12.2025; опубл. в Бюлетені «Охорона прав на сорти рослин» офіційне видання. № 12. 2025. С. 91. / Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України.

6. А. с. № 250070 Кукурудза звичайна. (*Zea mays* L.). ДН Буча. / Черчель В. Ю, Дзюбецький Б. В., Боденко Н.А., Гайдаш О.Л., Абельмасов О.В., Ковальов Д.В., Круглова М.О., Купар Ю.Ю., **Кулик О.В.**, Коробко Ю. А. (Україна). № 23009009; заяв. 07.02.2025; опубл. в Бюлетені «Охорона прав на сорти рослин» офіційне видання. № 1. 2025. С. 50. / Міністерство аграрної політики і продовольства України.

7. Інноваційні підходи у створенні, адаптації та оцінці вихідного матеріалу кукурудзи на стресолерантність : науково-методичні рекомендації / Б. В. Дзюбецький, В. Ю. Черчель, А. В. Алдошин, Н. А. Боденко, О. Л. Гайдаш, Д. С. Купріченков, М. О. Круглова, Е. М. Федоренко, Д. В. Ковальов, Л. В. Томаш, Д. В. Козарійчук, В. В. Костенко, **О. В. Кулик**, В. О. Гайдабура, А. В. Бебех. Вид. 2-ге, доопр. і допов. Вінниця : ТВОРИ, 2026. 52 с. DOI: doi.org–2026.03.12.01-52/022

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	15
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СЕЛЕКЦІЇ СКОРОСТИГЛИХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ПІВДЕННОГО ЕКОТИПУ.....	22
1.1 Сучасний стан виробництва кукурудзи та напрями розвитку селекції.....	22
1.2 Теоретичне обґрунтування гетерозисних моделей у селекції скоростиглих гібридів кукурудзи.....	33
1.3 Критерії ідентифікації та оцінки селекційної цінності вихідного матеріалу за еколого–генетичними параметрами..	44
Висновки до розділу 1.....	53
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА, МАТЕРІАЛИ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	55
2.1 Загальна ґрунтово–кліматична характеристика місця проведення досліджень.....	55
2.2 Погодні умови в роки досліджень.....	58
2.3 Методика проведення досліджень і вихідний матеріал.....	63
Висновки до розділу 2.....	66
РОЗДІЛ 3 КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ДОБІР ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ КУКУРУДЗИ ЗА ОСНОВНИМИ ГОСПОДАРСЬКО – ЦІННИМИ ОЗНАКАМИ	67
3.1 Тривалість періоду сходи цвітіння 50% качанів.....	67
3.2 Морфобіологічна характеристика самозапильних сімей кукурудзи поколінь $S_4 - S_6$	70
3.3 Складові структури качана.....	78
3.4 Кореляційний аналіз основних господарсько – цінних ознак кукурудзи.....	84

3.5	Оцінка незалежного внеску ознак у продуктивність (Регресійний аналіз).....	89
3.6	Багатовимірний аналіз фенотипової дивергентності сімей кукурудзи (РСА та кластерний аналіз).....	92
	Висновки до розділу 3.....	98
РОЗДІЛ 4 КОМБІНАЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ САМОЗАПИЛЕНИХ ЛІНІЙ ЗА ОЗНАКОЮ «ВРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА».....		100
	Висновки до розділу 4.....	106
РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ТА АДАПТИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ТЕСТКРОСІВ КУКУРУДЗИ ЗА ГОСПОДАРСЬКО – ЦІННИМИ ОЗНАКАМИ		108
5.1	Тривалість періоду сходи цвітіння 50% качанів у тесткросів	108
5.2	Висота рослин і висота прикріплення першого продуктивного качана у тесткросів.....	110
5.3	Врожайність і збиральна вологість зерна тесткросів.....	115
	Висновки до розділу 5.....	121
РОЗДІЛ 6 СЕЛЕКЦІЙНА ЦІННІСТЬ ТА МОРФО – БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕНИХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ		124
	Висновки до розділу 6.....	126
	ВИСНОВКИ.....	127
	РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЙНОЇ ПРАКТИКИ І ВИРОБНИЦТВА	130
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	131
	ДОДАТКИ.....	164

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДУ ІЗК НААН	– Державна установа Інститут зернових культур Національної академії аграрних наук України;
BSSS	– синтетична популяція кукурудзи Iowa Stiff Stalk Synthetic;
CIMMYT	– міжнародний центр збереження та використання генетичних ресурсів;
CRISPR/Cas	– система технологій редагування геному;
DH	– подвійні (подвоєні) гаплоїди;
GEBV	– геномна селекційна цінність;
MAS	– маркер-асоційований добір;
p	– рівень статистичної значущості;
PCA	– багатовимірний аналіз фенотипової дивергентності (метод головних компонент);
PCA–biplot	PCA–biplot – біплот методу головних компонент для спільної візуалізації об'єктів (генотипів) та ознак;
r	– коефіцієнт кореляції;
S ₄ –S ₆	– покоління інбридингу (самозапилення).
SNP	– однонуклеотидні поліморфізми (тип молекулярних маркерів);
SSR	– тип молекулярних маркерів;
T-cms	– цитоплазматична чоловіча стерильність типу Texas;
β	– бета-коефіцієнт у регресійному аналізі;
ФАО	– показник групи стиглості кукурудзи
ЗКЗ	– загальна комбінаційна здатність генотипу;
СКЗ	– специфічна комбінаційна здатність генотипу;
HP0,05	– найменша суттєва різниця для п'ятивідсоткового рівня значущості;
$\bar{x}$	– середня арифметична, вибіркова середня;
V	– коефіцієнт варіації, мінливості;
tS($\bar{x}$)	– довірчий інтервал;
G×E	– взаємодія генотипу та середовища;
SE	– стандартна похибка коефіцієнта;
t	– t–статистика Стьюдента;
VIF	– фактор інфляції дисперсії;

ВСТУП

Кукурудза (*Zea mays L.*) належить до найбільш поширених і стратегічно важливих сільськогосподарських культур світового землеробства. Завдяки високому потенціалу продуктивності, широкій екологічній пластичності та різноманітності напрямів використання вона займає провідне місце у формуванні продовольчої, кормової та енергетичної безпеки багатьох країн світу. У сучасних агроекологічних умовах культура відіграє важливу роль у забезпеченні стабільності зернового виробництва та є одним із ключових елементів інтенсивних технологій вирощування.

Висока адаптивність кукурудзи до різноманітних умов вирощування зумовлена значним генетичним потенціалом виду, наявністю широкої різноманітності вихідного матеріалу та ефективністю використання методів гетерозисної селекції. Саме створення інбредних ліній із комплексом цінних господарських ознак та їх подальше використання у гібридизації стало основою стрімкого підвищення продуктивності культури протягом останніх десятиліть. Сучасна селекція кукурудзи базується на поєднанні традиційних методів добору, оцінювання комбінаційної здатності та новітніх підходів до ідентифікації генетично цінних форм.

Одним із головних напрямів удосконалення селекційного процесу є створення генотипів, здатних стабільно реалізовувати продуктивний потенціал у конкретних агроекологічних умовах. Особливої уваги набуває формування адаптивних сортолінійних ресурсів для регіонів із підвищеним рівнем абіотичного навантаження, де лімітуючими факторами є дефіцит вологи, високі температури повітря та скорочення тривалості сприятливого періоду вегетації. У цьому напрямі важливе значення має селекція скоростиглих форм кукурудзи, які здатні ефективно використовувати ресурси середовища та забезпечувати стабільне виробництво зерна навіть за несприятливих погодних умов.

Ефективність створення нових гібридів значною мірою визначається наявністю генетично різноманітного, адаптованого до контрастних умов

вихідного матеріалу. Тому ідентифікація, комплексне оцінювання та залучення до селекційного процесу нових скоростиглих інбредних ліній різного генетичного походження є одним із пріоритетних завдань сучасної селекції кукурудзи. Особливо важливим є пошук і формування нових гетерозисних моделей, які дозволяють поєднати високу продуктивність, скоростиглість та стійкість до стресових факторів середовища.

Актуальність теми. Складність селекції кукурудзи на скоростиглість в умовах Степу України зумовлена обмеженістю вихідного матеріалу, який би поєднував раннє визрівання з високою адаптивністю до специфічних стресових факторів регіону. Традиційні ранньостиглі лінії світової колекції, зокрема F2, F7, Ер1, Ма21, Ма23, Со125, Со255, См7, PLS61, S72 та інші, характеризувалися високою холодостійкістю, інтенсивним початковим ростом рослин, скороченим періодом вегетації та швидким накопиченням сухої речовини при визріванні. Водночас значна частина цих генотипів виявилась недостатньо пристосованою до умов Півдня України, де основними лімітуючими чинниками є дефіцит ґрунтової вологи, високі температури повітря у період цвітіння–наливу зерна та нерівномірний розподіл опадів протягом вегетаційного періоду.

У минулому перевага у виробництві в зоні Степу надавалася середньостиглим і середньопізним генотипам, які завдяки більш тривалому періоду вегетації мали вищий потенціал продуктивності та краще використовували ресурси середовища у другій половині вегетації. Саме на їх основі були сформовані найбільш поширені гетерозисні моделі кукурудзи, що базувалися переважно на зародкових плазмах Айодент, Ланкастер та Рейд. Натомість скоростиглий напрям селекції тривалий час залишався менш пріоритетним, а гетерозисні моделі ранньостиглих гібридів мали переважно локальний характер і не супроводжувалися системними програмами генетичного удосконалення.

Сучасні зміни клімату, що проявляються у підвищенні температурного режиму та збільшенні частоти посушливих періодів, зумовлюють

необхідність перегляду підходів до селекції скоростиглої кукурудзи. Особливої актуальності набуває створення нового вихідного матеріалу на основі генетичного потенціалу середньопізніх та середньостиглих форм із подальшим його перетворенням у скоростиглі, адаптовані до умов Степу генотипи. Такий підхід дозволяє поєднати високий продуктивний потенціал із раннім досяганням, ефективним використанням вологи та стійкістю до комплексу несприятливих факторів середовища.

Отже, першочерговим завданням селекції кукурудзи скоростиглого напрямку є систематизація, оцінювання та акумуляція нового вихідного матеріалу, створеного на основі цінних зародкових плазм середньостиглої та середньопізньої груп стиглості. Це дозволить здійснювати результативний добір інбредних ліній, визначати їх селекційну цінність та формувати перспективні гетерозисні моделі гібридів ФАО 150–290 південного екотипу, адаптованих до умов вирощування у степовій зоні України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження виконано в рамках науково-дослідної діяльності відділу селекції і насінництва зернових культур Державної установи «Інститут зернових культур НААН» упродовж 2023–2025 рр. Робота є частиною виконання завдань ПНД 15 на 2021–2025 рр. «Агробіологічні системи виробництва зерна в Україні. Селекція та насінництво кукурудзи і сорго» («Система виробництва зерна»), підпрограми «Створення вихідного матеріалу та гібридів кукурудзи і сорго, адаптованих до умов різних зон України». Дослідження проводилися відповідно до завдання «Теоретичні основи підвищення врожайності скоростиглих гібридів кукурудзи ФАО 150–290, адаптованих до різних кліматичних зон України» (номер державної реєстрації 0121U108630).

Мета і завдання досліджень. Метою роботи було наукове обґрунтування підходів до ідентифікації та комплексного оцінювання скоростиглих самозапильних сімей кукурудзи поколінь S_4 – S_6 , визначення їх

селекційної цінності та використання у формуванні перспективних гетерозисних моделей гібридів кукурудзи для умов Степу України.

Для досягнення поставленої мети передбачалося вирішення таких завдань:

- встановити закономірності прояву та мінливості тривалості вегетаційного періоду і морфобіологічних ознак скоростиглих сімей S_4 – S_6 кукурудзи залежно від умов вирощування та рівня скоростиглості;
- визначити продуктивність самозапильних сімей S_4 – S_6 , та їх тесткросів, оцінити їх селекційну цінність за комплексом господарсько важливих ознак за різних погодних умов;
- виявити генотипи кукурудзи з прискореним досяганням та низькою вологістю зерна під час збирання як перспективний матеріал для подальшого селекційного використання;
- визначити основні критерії оцінювання та ідентифікації генотипів південного екотипу для ефективного добору скоростиглих форм у селекційному процесі;
- обґрунтувати перспективні гетерозисні моделі гібридів кукурудзи з різними типами формування скоростиглості та визначити напрями їх використання в умовах Степу України;
- створити та виділити перспективні скоростиглі гібридні комбінації кукурудзи, адаптовані до різних агрокліматичних умов вирощування України.

Об'єкт дослідження. Процес формування, оцінювання та використання скоростиглих інбредних ліній кукурудзи південного екотипу в системі гетерозисної селекції для умов Степу України.

Предмет дослідження. Особливості прояву скоростиглості, морфобіологічних ознак, продуктивності та інших господарсько цінних характеристик скоростиглих інбредних ліній кукурудзи та їх тесткросів, а також їх селекційна цінність у формуванні перспективних гетерозисних моделей.

Методи досліджень. У роботі використано комплекс селекційних, польових, лабораторно-польових та статистичних методів. Індивідуальний добір і метод топкросу застосовували при створенні та оцінюванні нового вихідного матеріалу і гібридних комбінацій кукурудзи. Польові дослідження проводили для визначення господарсько цінних і морфобіологічних ознак досліджуваних генотипів. Лабораторно-польові методи використовували для визначення вологості зерна під час збирання, аналізу елементів структури врожайності та оцінювання біологічних особливостей зразків.

Математично-статистичні методи включали дисперсійний і варіаційний аналізи для встановлення достовірності отриманих результатів, визначення комбінаційної здатності, проведення кореляційного та регресійного аналізів. Для оцінювання рівня подібності досліджуваних генотипів застосовували кластерний аналіз із побудовою дендрограми на основі багатовимірного статистичного групування за комплексом господарсько цінних ознак.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у встановленні закономірностей формування продуктивності, адаптивності та комбінаційної здатності скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи різного генетичного походження й обґрунтуванні його використання у гетерозисній селекції ранньостиглих гібридів в умовах Північного Степу України.

Уперше:

- для створеного комплексу скоростиглого вихідного матеріалу проведено комплексне оцінювання самозапилених сімей поколінь S_4 – S_6 за господарсько цінними ознаками, адаптивністю та комбінаційною здатністю;
- встановлено закономірності прояву продуктивності, тривалості вегетаційного періоду й комбінаційної здатності залежно від генотипу та контрастних гідротермічних умов;
- ідентифіковано самозапилені сім'ї, що поєднують скоростиглість, високу загальну і специфічну комбінаційну здатність та стабільність господарсько цінних ознак, як перспективні джерела для створення ранньостиглих гібридів кукурудзи.

Удосконалено методичні підходи до оцінювання селекційної цінності скоростиглого матеріалу шляхом комплексного використання кореляційного, регресійного, кластерного аналізу та методу головних компонент (РСА), що дозволило визначити інформативні критерії добору генотипів на ранніх етапах селекції.

Набули подальшого розвитку наукові положення щодо взаємозв'язків між морфобіологічними ознаками, елементами структури врожаю та продуктивністю скоростиглих ліній кукурудзи, що є основою для формування гетерозисних моделей і створення адаптованих ранньостиглих гібридів.

Практичне значення одержаних результатів. Практичне значення одержаних результатів. За результатами проведених досліджень виділено селекційно цінні скоростиглі інбредні лінії кукурудзи, які залучено до селекційного процесу як вихідний матеріал для створення нових гетерозисних гібридів. За участю здобувача створено та зареєстровано два скоростиглі гібриди кукурудзи – ДН Буча (2024 р.) та ДН Явір (2025 р.), які внесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні. Крім того, за участю автора створено два батьківські компоненти кукурудзи – Крос 252 М та ДК3252СВ3М, які перебувають на етапі кваліфікаційної експертизи в УІЕСР. Отримані результати можуть бути використані в селекційній практиці для створення нових високопродуктивних скоростиглих гібридів кукурудзи, придатних для вирощування в умовах Степу України.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача полягає у самостійному виконанні основного обсягу теоретичних, експериментальних і аналітичних досліджень. Автором розроблено план польових і лабораторних експериментів, схеми схрещувань, проведено добір та оцінювання вихідного селекційного матеріалу, організовано і виконано польові експерименти та випробування селекційних зразків за програмою досліджень.

Здобувач особисто здійснив фенологічні спостереження, біометричні вимірювання, обліки господарсько цінних ознак, статистичну обробку експериментальних даних, їх аналіз та наукову інтерпретацію. На основі отриманих результатів сформульовано висновки, розроблено практичні рекомендації для селекційної практики та підготовлено наукові публікації і звітну документацію. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить виконання експериментальних досліджень, статистична обробка й аналіз результатів, узагальнення отриманих даних та підготовка матеріалів до публікації.

Автор є співавтором двох гібридів кукурудзи – ДН Буча та ДН Явір, внесених до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні, у 2024 та 2025 рр. відповідно. Частка авторської участі здобувача у створенні зазначених гібридів становить 5%. Також за участю автора створено два батьківські компоненти кукурудзи (Крос 252 М та ДК3252СВ3М), які перебувають на етапі кваліфікаційної експертизи в УІЕСР.

Апробація результатів дисертації. Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на засіданнях науково-методичної ради з питань селекції та насінництва кукурудзи Державної установи «Інститут зернових культур НААН» упродовж 2023–2026 рр. Матеріали досліджень також були представлені на Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату» (ДУ ІЗК НААН, м. Дніпро, 16 березня 2023 р.).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 7 наукових праць: 3 статті (з них 2 – у наукових фахових виданнях України, 1 – у міжнародному науковому виданні), 1 публікацію тез доповідей на міжнародній науково-практичній конференції та 1 методичні рекомендації. Отримано 2 авторські свідоцтва на гібриди кукурудзи.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ТА МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ СЕЛЕКЦІЇ СКОРСТИГЛИХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ ПІВДЕННОГО ЕКОТИПУ

1.1 Сучасний стан виробництва кукурудзи та напрями розвитку селекції

Кукурудза (*Zea mays* L.) є однією з найважливіших стратегічних сільськогосподарських культур сучасного світового землеробства, що за обсягами виробництва зерна посідає перше місце серед усіх зернових культур. Її універсальність, високий генетичний потенціал продуктивності, широка екологічна пластичність та багатофункціональність використання визначають виняткове значення цієї культури для забезпечення продовольчої, кормової, енергетичної та економічної безпеки більшості країн світу. Саме кукурудза є основою інтенсивного розвитку тваринництва, харчової та переробної промисловості, а також одним із ключових компонентів виробництва біоетанолу, біогазу, крохмалю, органічних кислот, амінокислот та інших продуктів біотехнологічної переробки [1-3].

Висока енергетична цінність зерна кукурудзи обумовлена значним вмістом крохмалю (65–75 %), білка (8–12 %), рослинної олії (4–6 %), незамінних амінокислот, вітамінів і мікроелементів. Крім зерна, важливе господарське значення мають зелена маса, силос, стрижні качанів та інші побічні продукти, що використовуються як високоякісний корм для сільськогосподарських тварин, сировина для паперової, хімічної, фармацевтичної та біоенергетичної промисловості. Отже, сучасне виробництво кукурудзи має комплексне економічне значення та характеризується високим рівнем доданої вартості продукції [4-7].

Упродовж останніх десятиліть світове виробництво кукурудзи демонструє стійку тенденцію до зростання. За даними міжнародних статистичних організацій, щорічний валовий збір зерна культури перевищує

1,2 млрд тонн, що становить понад третину світового виробництва зернових. Основними виробниками залишаються США, Китай, Бразилія, Аргентина, Мексика та країни Європейського Союзу, на частку яких припадає понад 70 % світового валового виробництва. Водночас провідними експортерами зерна кукурудзи є США, Бразилія, Аргентина та Україна, що забезпечують значну частину міжнародної торгівлі зерновою продукцією [8, 9].

Виробництво кукурудзи характеризується постійним підвищенням середньої врожайності, що значною мірою обумовлено досягненнями сучасної селекції, розвитком насінництва, удосконаленням агротехнологій, застосуванням високоефективних систем живлення рослин, точного землеробства, цифрових технологій моніторингу посівів та інтегрованого захисту рослин. За останні 50 років генетичний прогрес у селекції гібридів забезпечив суттєве збільшення потенціалу врожайності, підвищення стійкості до біотичних і абіотичних факторів середовища, покращення технологічних показників зерна та стабільності прояву господарсько цінних ознак у різних ґрунтово-кліматичних умовах [10-12].

Для України кукурудза є однією з основних експортно орієнтованих сільськогосподарських культур. У структурі зернового виробництва держави вона займає провідні позиції як за площею посівів, так і за валовим збором зерна [13, 14]. До початку повномасштабної війни площі посіву культури стабільно перевищували 5 млн га, а валове виробництво окремими роками сягало понад 40 млн тонн зерна [1, 15]. Незважаючи на значні виклики останніх років, пов'язані з воєнними діями, зміною логістичних маршрутів, економічною нестабільністю та кліматичними ризиками, кукурудза залишається однією з найбільш економічно ефективних культур українського землеробства та має значний потенціал для подальшого розвитку.

Найбільш сприятливі природно-кліматичні зони України для вирощування кукурудзи вважається Лісостеп та Степ. Особливо високою продуктивністю характеризуються посіви у Полтавській, Черкаській, Вінницькій, Кіровоградській, Дніпропетровській, Хмельницькій та окремих

районах Одеської і Миколаївської областей. Поєднання родючих чорноземів, достатнього теплозабезпечення та сучасних технологій вирощування дозволяє реалізувати значну частину генетичного потенціалу сучасних гібридів [16, 17].

Разом із тим сучасне виробництво кукурудзи перебуває в умовах істотного зростання кліматичної нестабільності. Глобальні зміни клімату супроводжуються підвищенням середньорічних температур, збільшенням прояву атмосферних і ґрунтових посух, нерівномірним розподілом опадів, зростанням екстремальних погодних явищ [18, 19].

Найбільшій актуальності ці фактори набувають для південного Степу України, де дефіцит вологи дедалі частіше стає головним стримуючим чинником реалізації потенційної продуктивності культури. За цих умов одним із найважливіших напрямів сучасної селекції стає створення гібридів із підвищеною адаптивністю до водного стресу, високою посухо- та жаростійкістю, ефективним використанням вологи та здатністю забезпечувати стабільну врожайність за несприятливих умов вирощування [20, 21].

Суттєве місце у сучасній структурі виробництва займають скоростиглі та середньоранні гібриди, які характеризуються коротшим вегетаційним періодом, нижчою потребою у сумі активних температур, швидшою вологовіддачею зерна під час досягання та можливістю уникнення найбільш критичних періодів літньої посухи [22, 23]. Особливо актуальним є використання скоростиглих генотипів у північних регіонах вирощування, а також у зоні недостатнього зволоження Степу, де вони забезпечують більш стабільну реалізацію потенціалу продуктивності та зменшують витрати на післязбиральне досушування зерна [24, 25].

У зв'язку з цим одним із ключових напрямів сучасної селекції є створення нового покоління інбредних ліній, адаптованих до специфічних умов окремих ґрунтово-кліматичних зон, насамперед, південного екотипу. Такі лінії повинні поєднувати високу комбінаційну здатність, оптимальну

тривалість вегетаційного періоду, стійкість до комплексу біотичних та абіотичних чинників, ефективне використання вологи, прискорену вологовіддачу зерна та високий рівень гетерозису у гібридному потомстві.

Сучасна селекція кукурудзи дедалі більше базується на використанні комплексного підходу, який поєднує класичні методи добору із молекулярно-генетичними технологіями [26, 27]. Значного поширення набули ДНК-маркерний аналіз, геномна селекція, високопродуктивне фенотипування, застосування безпілотних літальних апаратів, цифрових платформ аналізу польових досліджень, біоінформатичних методів прогнозування селекційної цінності генотипів, а також технологія подвоєних гаплоїдів (DH), що суттєво скорочує тривалість створення нових інбредних ліній [28, 29]. Поєднання цих технологій із традиційними методами оцінювання, зокрема, загальної та специфічної комбінаційної здатності значно підвищує ефективність формування нових гетерозисних моделей [30-32].

Одним із фундаментальних напрямів сучасної селекції залишається дослідження генетичної структури вихідного матеріалу та ідентифікація нових гетерозисних груп [33, 34]. Використання генетично віддалених інбредних ліній забезпечує максимальний прояв ефекту гетерозису, що є визначальним чинником підвищення продуктивності сучасних гібридів [35, 36]. Особливу актуальність у цьому аспекті набуває вивчення скоростиглих ліній південного екотипу, які сформувалися в умовах тривалого природного та штучного добору за високих температур і дефіциту вологи. Їх генетичне різноманіття, адаптивний потенціал та особливості взаємодії в різних селекційних схемах залишаються недостатньо дослідженими, що обумовлює необхідність поглибленого аналізу їхнього походження, комбінаційної здатності та приналежності до сучасних гетерозисних моделей [37-39].

Отже, сучасний розвиток селекції кукурудзи спрямований не лише на підвищення потенціалу врожайності, а й на формування високопродуктивних, екологічно пластичних і стресостійких гібридів, здатних забезпечувати стабільне виробництво зерна в умовах кліматичних

змін. Одним із найбільш перспективних напрямів таких досліджень є ідентифікація скоростиглих інбредних ліній південного екотипу, встановлення їхньої генетичної належності до існуючих гетерозисних груп та створення на цій основі нових високоефективних гетерозисних моделей, адаптованих до умов Степу України.

Важливою біологічною та господарською особливістю кукурудзи є її надзвичайно висока багатфункціональність, що забезпечує практично безвідходне використання всієї рослинної біомаси [40, 41]. На відміну від більшості зернових культур, у виробничому процесі ефективно використовуються не лише зерно, а й листостеблова маса, качани, стрижні, обгортки, пилок, зародки зерна та численні побічні продукти промислової переробки. Завдяки цьому кукурудза є однією з найбільш економічно ефективних культур світового землеробства, а її вирощування характеризується високим рівнем рентабельності та широкими можливостями диверсифікації виробництва. Комплексне використання продукції кукурудзи формує вагомий складову сировинної бази агропромислового комплексу та забезпечує функціонування багатьох галузей харчової, кормової, біотехнологічної, фармацевтичної, хімічної та енергетичної промисловості [42, 43].

Економічна ефективність вирощування кукурудзи значною мірою обумовлена можливістю комплексної переробки її продукції. Із зерна отримують крохмаль, патоку, глюкозно-фруктозні сиропи, кукурудзяну олію, борошно, крупу, спирт, біоетанол, органічні кислоти, амінокислоти, вітаміни, біополімери та широкий спектр інших продуктів із високою доданою вартістю. Побічні продукти переробки – глютен, висівки, барда, кукурудзяний екстракт та шрот – широко використовуються як високопоживні компоненти комбикормів і як сировина для мікробіологічного синтезу. Листостеблова маса є цінною сировиною для виробництва силосу, сінажу, гранульованих кормів, а також біогазу й інших видів відновлюваної енергії [4, 40, 41]. Таким чином, кукурудза забезпечує формування

багатокомпонентного виробничого циклу, який максимально ефективно використовує біологічний потенціал рослини.

Провідним напрямом використання зерна кукурудзи у світовому масштабі залишається кормовиробництво. За оцінками міжнародних аналітичних організацій, близько двох третин світового валового збору зерна використовується для годівлі сільськогосподарських тварин і птиці. Така структура споживання обумовлена високою поживною цінністю зерна, оптимальним співвідношенням енергетичних і поживних компонентів, доброю перетравністю та високою засвоюваністю поживних речовин. Кукурудзяне зерно характеризується високим вмістом легкоперетравного крохмалю, низькою концентрацією антипоживних речовин, високою обмінною енергією та доброю смаковою привабливістю для тварин, що робить його незамінним компонентом сучасних комбікормів [6, 44].

Останніми десятиліттями дедалі більшого значення набуває промислове використання кукурудзи як відновлюваної біологічної сировини. Зерно є основною сировиною для виробництва біоетанолу, частка якого у структурі використання кукурудзи постійно зростає, особливо у США та країнах Європейського Союзу [45, 46]. Одночасно активно розвиваються технології виробництва біогазу із силосної маси, що сприяє зменшенню залежності від викопних енергоресурсів та відповідає сучасним концепціям сталого розвитку й циркулярної економіки. Найбільшим виробником біоетанолу залишаються США, де близько 40 % валового збору зерна кукурудзи щорічно спрямовується на його виробництво. Біоетанол широко використовується як компонент моторних палив, що дозволяє зменшити викиди парникових газів, підвищити енергетичну безпеку та знизити залежність від традиційних енергоносіїв [43, 47]. Таким чином, економічне значення кукурудзи виходить далеко за межі традиційного зернового виробництва, що зумовлює постійне зростання попиту на високопродуктивні гібриди з покращеними технологічними та адаптивними властивостями.

Поряд із кормовим використанням кукурудза має надзвичайно важливе продовольче значення та є однією з основних харчових культур у багатьох країнах світу [48]. За даними міжнародних продовольчих організацій, щорічно понад 100 млн тонн зерна використовується безпосередньо для споживання людиною, а в окремих регіонах Африки, Латинської Америки та Південно-Східної Азії кукурудза є базовим компонентом харчового раціону населення. У цих країнах вона забезпечує значну частину добової потреби в енергії, вуглеводах, рослинному білку та інших поживних речовинах, відіграючи ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки [49, 50].

Харчова цінність зерна кукурудзи визначається високим вмістом легкозасвоюваного крохмалю, рослинного білка, харчових волокон, ненасичених жирних кислот, вітамінів групи В, токоферолів, каротиноїдів та мінеральних елементів [51, 52]. Завдяки відсутності глютену кукурудзяне борошно та продукти його переробки широко використовуються у виробництві спеціалізованого харчування для людей із целиакією та непереносимістю глютену [53, 54]. Останніми роками суттєво зріс попит на продукти функціонального харчування на основі кукурудзи, що пов'язано зі збільшенням інтересу до здорового способу життя та використання безглютенових харчових продуктів [55].

Особливе місце у структурі промислового використання кукурудзи належить крохмальній промисловості. Кукурудзяний крохмаль є однією з найважливіших універсальних біополімерних сировин сучасної економіки та використовується у десятках галузей промислового виробництва [56, 57].

Особливої уваги заслуговує кукурудзяний зародок, який використовується для виробництва харчової рослинної олії. Кукурудзяна олія характеризується високим вмістом поліненасичених жирних кислот, насамперед, лінолевої, а також токоферолів, фітостеролів та природних антиоксидантів, що визначає її високу біологічну й дієтичну цінність [58].

Саме селекція сьогодні розглядається як один із найефективніших інструментів підвищення продуктивності культури, її адаптивності та

економічної ефективності виробництва. За оцінками експертів, генетичне вдосконалення сучасних гібридів забезпечує від 50 до 70 % приросту врожайності, тоді як решта припадає на удосконалення технологій вирощування та оптимізацію системи агротехнічних заходів. У зв'язку зі зростанням чисельності населення світу, обмеженістю земельних і водних ресурсів, а також необхідністю мінімізації негативного впливу сільського господарства на довкілля, значення селекції кукурудзи продовжує неухильно зростати [59, 60].

Сучасні світові селекційні програми орієнтовані на створення гібридів нового покоління, які поєднують високий потенціал урожайності зі стабільністю його реалізації в широкому діапазоні умов вирощування [61]. На відміну від традиційних підходів, сучасна селекція все більше акцентує увагу не лише на максимальній продуктивності, а й на формуванні комплексної адаптивності генотипів. До пріоритетних напрямів належать підвищення посухо- та жаростійкості, ефективності використання ґрунтової вологи, толерантності до низьких температур на початкових етапах органогенезу, стійкості до вилягання, прискореної вологовіддачі зерна, а також поліпшення реакції рослин на дефіцит мінерального живлення. Особливого значення ці ознаки набувають у зв'язку зі зміною клімату, яка супроводжується збільшенням частоти екстремальних погодних явищ і потребує створення високопластичних гібридів, здатних забезпечувати стабільну врожайність за мінливих умов середовища [62, 63].

Поряд із підвищенням стійкості до абіотичних чинників сучасна селекція спрямована на формування генотипів із комплексною стійкістю до найбільш поширених хвороб і шкідників кукурудзи. Значна увага приділяється створенню гібридів, стійких до пухирчастої та летючої сажки, фузаріозу качанів і стебел, гелмінтоспоріозу, а також до пошкодження кукурудзяним метеликом (*Ostrinia nubilalis* Hbn.), західним кукурудзяним жуком (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) та іншими економічно небезпечними фітофагами [64, 65]. Реалізація цього напряму дозволяє не

лише підвищити врожайність, а й зменшити використання засобів захисту рослин, що відповідає сучасним принципам екологічно сталого землеробства.

Однією з характерних особливостей сучасного етапу розвитку селекції кукурудзи є інтеграція класичних генетико-селекційних методів із досягненнями молекулярної біології, геноміки, біоінформатики та цифрових технологій. Використання молекулярно-генетичних методів суттєво розширило можливості оцінювання вихідного матеріалу, дозволило більш точно визначати генетичну структуру популяцій, встановлювати спорідненість між інбредними лініями та здійснювати цілеспрямований добір генотипів із бажаними комбінаціями алелів [66, 67]. Це стало основою переходу від переважно фенотипової селекції до інтегрованих генотип-фенотип орієнтованих підходів.

Найбільшого поширення у практиці сучасної селекції набув маркер-асоційований добір (Marker-Assisted Selection, MAS), який базується на використанні молекулярних маркерів, генетично зчеплених із локусами, що контролюють прояв господарсько цінних ознак [68, 69]. Застосування SSR-, SNP-, InDel- та інших типів маркерів дозволяє здійснювати ранню ідентифікацію носіїв цільових генів незалежно від фенотипового прояву ознаки та умов вирощування. Це істотно підвищує ефективність селекційного процесу, скорочує кількість польових оцінок, прискорює добір перспективних генотипів і зменшує загальну тривалість створення нових гібридів [70, 71].

Подальшим етапом розвитку молекулярної селекції стало впровадження геномної селекції (Genomic Selection, GS), яка сьогодні вважається одним із найперспективніших напрямів генетичного поліпшення кукурудзи [72]. На відміну від маркер-асоційованого добору, геномна селекція використовує інформацію про десятки або сотні тисяч однонуклеотидних поліморфізмів (SNP), рівномірно розподілених по всьому геному [73]. На основі статистичних моделей визначається геномна селекційна цінність (Genomic Estimated Breeding Value, GEBV) кожного

генотипу, що дозволяє прогнозувати його селекційний потенціал без багаторічних польових випробувань [74]. Використання цього підходу забезпечує суттєве скорочення тривалості селекційного циклу, підвищення точності прогнозування комплексних кількісних ознак та прискорення генетичного прогресу у створенні нових гібридів [75, 76].

Важливим напрямом сучасної біотехнологічної селекції є використання технологій редагування геному, серед яких найбільшого поширення набула система CRISPR/Cas [77]. Її принцип ґрунтується на високоточному внесенні контрольованих змін до визначених ділянок ДНК без необхідності введення чужорідного генетичного матеріалу. Це відкриває принципово нові можливості для створення генотипів із покращеними господарсько цінними ознаками, зокрема підвищеною стійкістю до посухи, високих температур, патогенів, ефективнішим використанням азоту, покращеними технологічними властивостями зерна та оптимізованою архітектурою рослини. Крім того, технології геномного редагування активно використовуються для функціонального аналізу генів, що контролюють прояв кількісних ознак, і створення нового вихідного матеріалу для селекційних програм [78, 79].

Водночас, незважаючи на стрімкий розвиток молекулярно-генетичних технологій, основою практичної селекції кукурудзи залишається використання генетично різноманітного вихідного матеріалу та ефективне поєднання інбредних ліній у гібридизації. Саме тому особливого значення набувають дослідження, спрямовані на встановлення генетичної структури селекційних колекцій, визначення належності інбредних ліній до існуючих гетерозисних груп, оцінювання їхньої загальної та специфічної комбінаційної здатності й пошук нових гетерозисних моделей. Особливо актуальними ці питання є для скоростиглих ліній південного екотипу, які формувалися в специфічних ґрунтово-кліматичних умовах Степу України та можуть бути джерелом унікальних адаптивних властивостей, необхідних для створення високопродуктивних гібридів нового покоління [80].

Одним із найбільш перспективних напрямів сучасної селекції кукурудзи є використання технології подвійних гаплоїдів (Double Haploid, DH), яка докорінно змінила підходи до створення вихідного селекційного матеріалу [81, 82].

Паралельно з розвитком технології подвійних гаплоїдів інтенсивно удосконалюються методи високопродуктивного фенотипування, цифрового моніторингу посівів, використання безпілотних літальних апаратів, систем комп'ютерного аналізу зображень та штучного інтелекту. Комплексне використання цих інструментів забезпечує суттєве підвищення точності оцінювання селекційного матеріалу, дозволяє оперативно аналізувати великі популяції рослин і приймати обґрунтовані рішення щодо добору перспективних генотипів. У поєднанні з геномною селекцією такі технології формують принципово нову концепцію «селекції, керованої даними» (data-driven breeding), що сьогодні визначає світові тенденції розвитку генетичного поліпшення кукурудзи [83, 84, 85].

Таким чином, сучасний розвиток виробництва кукурудзи характеризується тісною інтеграцією високоефективних агротехнологій із досягненнями класичної та молекулярної селекції. Зростання попиту на зерно продовольчого, кормового, технічного й енергетичного призначення, посилення впливу кліматичних змін та необхідність забезпечення стабільного виробництва вимагають постійного вдосконалення генетичного потенціалу культури. У цих умовах селекція стає визначальним чинником підвищення конкурентоспроможності сучасних гібридів, забезпечуючи одночасне поєднання високої продуктивності, адаптивності, технологічності та екологічної стійкості [86, 87].

Фундаментальною основою створення високопродуктивних гібридів кукурудзи залишається використання явища гетерозису, яке забезпечує істотне перевищення гібридним потомством батьківських форм за рівнем урожайності, життєздатності, адаптивності та комплексом інших господарсько цінних ознак. Незважаючи на багаторічну історію досліджень,

генетична природа гетерозису досі залишається предметом активних наукових дискусій. Сучасні досягнення молекулярної генетики, функціональної геноміки та системної біології свідчать про складний полігенний характер цього явища, у формуванні якого беруть участь механізми домінування, наддомінування, епістатичних взаємодій, комплементарності генів та регуляторних мереж експресії геному. Водночас ефективне використання гетерозису у практичній селекції потребує не лише теоретичного розуміння його природи, а й розроблення надійних методів прогнозування комбінаційної здатності та ідентифікації генетично віддалених батьківських компонентів [88, 89].

Особливого значення ці питання набувають у селекції скоростиглих гібридів, призначених для вирощування в умовах південного Степу України, де продуктивність рослин визначається комплексною взаємодією генотипу з екстремальними факторами середовища – дефіцитом вологи, високими температурами та нестабільністю погодних умов [90, 91]. Саме тому одним із пріоритетних напрямів сучасних досліджень є ідентифікація скоростиглих інбредних ліній південного екотипу, визначення їхньої генетичної належності до існуючих гетерозисних груп, оцінювання комбінаційної здатності та формування нових високоефективних гетерозисних моделей, здатних забезпечити створення конкурентоспроможних гібридів нового покоління [92, 93]. Саме ці питання становлять теоретичну та практичну основу подальших досліджень, викладених у наступних розділах дисертаційної роботи.

1.2 Теоретичне обґрунтування гетерозисних моделей у селекції скоростиглих гібридів кукурудзи

Фундаментальною передумовою синтезу високопродуктивних гібридів кукурудзи є формування генетично стабільного вихідного матеріалу – інбредних ліній, що забезпечують відтворюваність генотипу та високу

прогнозованість комбінаційної здатності [94, 95]. Створення таких форм вимагає проведення шести–вісьмох поколінь самозапилення для досягнення рівня гомозиготності понад 98 % [96, 97, 98]. Хоча цей процес є тривалим, інтенсивне генетичне розщеплення на ранніх етапах інбридингу генерує необхідний спектр рекомбінантних генотипів. Це створює базу для жорсткого добору за критичними для скоростиглих форм ознаками (архітектурою, швидкістю вологовіддачі та стресостійкістю), закладаючи унікальні блоки спадкових факторів для майбутніх гетерозисних комбінацій [99, 100].

Кумуляція гомозиготності закономірно супроводжується інбредною депресією – системним зниженням життєздатності та адаптивного потенціалу через фенотиповий прояв шкідливих рецесивних алелів і руйнування сприятливих міжалельних взаємодій [101, 102, 103, 104]. Проте це явище є лімітованим: після досягнення так званого «інбредного мінімуму» настає фаза генетичної стабілізації [105]. На цьому етапі фенотипова мінливість мінімізується, формуючи постійний вихідний матеріал. Ступінь фінальної депресії та практична цінність створених ліній безпосередньо залежать від генетичної ємності вихідної популяції та жорсткості індивідуального добору в процесі інцухтування [106].

Теоретичні основи селекції інбредних ліній та використання явища гетерозису були сформовані завдяки фундаментальним дослідженням багатьох видатних учених. Значний внесок у розвиток генетичних основ селекції зробили М. І. Вавілов, який сформулював концепцію центрів походження культурних рослин і заклав основи вчення про генетичне різноманіття [107]; Б. П. Соколов і М. І. Хаджинов, які розробили принципи створення та використання інбредних ліній кукурудзи [108]; В. О. Козубенко, Б. П. Гур'єв, Б. В. Дзюбецький, П. П. Домашнев і В. Ю. Черчель, чії наукові праці присвячені розвитку вітчизняної селекції, удосконаленню методів оцінювання комбінаційної здатності, формуванню нових гетерозисних груп і створенню адаптованих до умов України гібридів [25, 109, 110, 111].

Результати їхніх досліджень стали теоретичною та методичною основою сучасних селекційних програм, що реалізуються як у наукових установах, так і в комерційних насінницьких компаніях.

Історично еволюція вихідного матеріалу розпочалася з ліній «першого циклу», виділених безпосередньо з місцевих сортів-популяцій із широким генетичним різноманіттям [112, 113, 114]. Ці генотипи репрезентували стародавні зародкові плазми і сформували базові світові гетерозисні групи, що досі слугують донорами господарсько цінних ознак. До них належать похідні плазми Lancaster Sure Crop (C103, C123, Oh40, L317), Iowa Stiff Stalk Synthetic / Reid (B14, B37), Iodent (A344, W153), а також лінії серії CO103 і CO113. Саме ці генотипи стали донорами численних господарсько цінних ознак – високої комбінаційної здатності, продуктивності, технологічності та адаптивності – і в різних модифікаціях досі залишаються складовою генетичного фонду сучасних комерційних гібридів [33].

Згодом методологія трансформувалася: селекціонери перейшли до створення ліній «другого циклу» на базі перспективних міжлінійних гібридів. Це прискорило селекційний процес і забезпечило швидку кумуляцію перевірених комбінацій алелів, підвищивши власну продуктивність нових інбредних форм [115, 116]. Однак інтенсивне схрещування споріднених генотипів об'єктивно спричинило звуження генетичної бази, що не лише обмежувало потенціал гетерозису, а й формувало екологічну та імунологічну вразливість [117].

Найбільш показовим прикладом негативних наслідків генетичної одноманітності стала масштабна епіфітотія південної плямистості листків кукурудзи (Southern Corn Leaf Blight), що виникла у США у 1970 р. Катастрофічний розвиток хвороби був безпосередньо пов'язаний із масовим використанням цитоплазматичної чоловічої стерильності типу Texas (T-cms). У результаті епіфітотії втрати врожаю в окремих регіонах досягали 30–50 % [118, 119].

Враховуючи ці ризики, сучасна концепція конструювання гетерозисних моделей базується на створенні ліній змішаного походження, геном яких є результатом багатокрокової рекомбінації різних зародкових плазм [120]. Для селекції скоростиглих гібридів найбільш аналітично обґрунтованим є залучення у схрещування зубоподібного (dent) та кременистого (flint) підвидів. Такий підхід гарантує подолання бар'єрів генетичної спорідненості, забезпечуючи створення екологічно пластичних гібридів, що здатні ефективно поєднувати інтенсивну початкову енергію росту, швидку вологовіддачу зерна та максимальний прояв гетерозисного ефекту в стресових умовах вирощування [121, 122].

З метою запобігання звуженню генетичної основи селекційного матеріалу та забезпечення максимального прояву гетерозису сучасні селекційні програми ґрунтуються на чіткій систематизації вихідного матеріалу за гетерозисними групами [123]. Така класифікація дозволяє цілеспрямовано добирати генетично віддалені батьківські компоненти, прогнозувати їхню комбінаційну здатність і підвищувати ефективність створення нових гібридів. Для зубоподібної кукурудзи найбільше значення мають гетерозисні групи Reid (Iowa Stiff Stalk Synthetic), Lancaster Sure Crop, Minnesota 13 та Iodent, тоді як серед кременистої зародкової плазми провідну роль відіграють групи Northern Flint, Lacaune, European Flint та їхні численні похідні [124, 125]. Саме належність інбредних ліній до певної гетерозисної групи сьогодні розглядається як один із найважливіших критеріїв прогнозування їхньої селекційної цінності [126]. Встановлення генетичних взаємовідносин між лініями, оцінювання ступеня їхньої спорідненості та ідентифікація нових джерел генетичного різноманіття створюють теоретичне підґрунтя для формування ефективних гетерозисних моделей. Особливої актуальності ці питання набувають у селекції скоростиглих інбредних ліній південного екотипу, генетична структура яких досліджена недостатньо, хоча їхній потенціал для створення високопродуктивних адаптивних гібридів

залишається одним із найперспективніших напрямів сучасної селекції кукурудзи [127, 128].

У результаті багаторічних досліджень закономірностей успадкування господарсько цінних ознак, оцінювання комбінаційної здатності та аналізу ефективності міжлінійних схрещувань у світовій селекційній практиці сформувалася концепція гетерозисних моделей (heterotic patterns) [129]. Її поява стала визначальним етапом розвитку гетерозисної селекції, оскільки дала змогу перейти від емпіричного добору батьківських компонентів до науково обґрунтованого прогнозування найефективніших комбінацій. Під гетерозисною моделлю розуміють систему цілеспрямованого схрещування інбредних ліній, що належать до різних генетично диференційованих гетерозисних груп і характеризуються високою взаємною комбінаційною здатністю [130 - 132]. На відміну від окремої гетерозисної групи, яка об'єднує споріднені генотипи зі спільним походженням, гетерозисна модель є функціональною селекційною схемою, що описує закономірності взаємодії двох або більше груп під час гібридизації для отримання максимального ефекту гетерозису [133, 134].

Генетичною основою функціонування таких моделей є достатній рівень генетичної дивергенції між батьківськими компонентами. Численні дослідження показали, що найвищий рівень гетерозисного ефекту спостерігається під час схрещування ліній, які суттєво відрізняються за походженням, алельним складом та історією селекційного формування [135, 136]. Генетична віддаленість забезпечує збільшення рівня гетерозиготності у поколінні F_1 , що сприяє ефективному поєднанню сприятливих алелів, маскуванню шкідливих рецесивних мутацій та відновленню високої життєздатності рослин. Механізм прояву гетерозису в межах цих моделей пояснюється комплексною взаємодією таких явищ, як домінування, наддомінування, епістатичні взаємодії та комплементарність генів [137].

Важливо підкреслити, що ефективність гетерозисної моделі визначається не лише ступенем генетичної віддаленості. Надмірна

дивергенція не завжди забезпечує максимальний рівень гетерозису, оскільки окремі комбінації можуть виявитися генетично несумісними або характеризуватися низькою специфічною комбінаційною здатністю [138]. Тому сучасна селекція базується на принципі оптимальної генетичної дистанції, за якої забезпечується найефективніше поєднання сприятливих алелів без порушення коадаптивних генних комплексів [139, 140]. Відповідно, гетерозисні моделі використовують як стратегічний інструмент планування: замість масових експериментальних схрещувань сучасний підхід передбачає попередню генетичну класифікацію ліній, оцінювання генетичної дистанції та комбінаційної здатності з подальшим цілеспрямованим формуванням гібридних комбінацій [141].

У сучасних селекційних програмах України поряд із вітчизняними широко використовуються інтродуковані інбредні лінії з різних світових центрів [142]. Оскільки значна частина такого матеріалу має складний або частково невідомий родовід, його ретельна ідентифікація є необхідною для інтеграції в загальну класифікацію [143]. Окрім класичних зародкових плазм, у вітчизняній селекції дедалі частіше застосовують складні рекомбінантні та змішані генетичні комплекси (Mix), сформовані внаслідок цілеспрямованих міжгрупових схрещувань [144].

Серед основних світових гетерозисних груп провідне місце посідає Reid (BSSS, Iowa Stiff Stalk Synthetic), яка протягом десятиліть залишається стратегічним джерелом вихідного матеріалу [145]. Завдяки поєднанню високої продуктивності та адаптивності сорт Reid Yellow Dent став фундаментом американської селекції [146]. Створена на його основі синтетична популяція BSSS після тривалого рекурентного добору дала початок класичним лініям (B14, B14A, B37, B64, B68, B73, B84), що відзначалися високою загальною комбінаційною здатністю, міцним стеблом та високим потенціалом урожайності [147]. Їхній генетичний внесок є надзвичайно вагомим: елементи плазми BSSS наявні у значній частині світового матеріалу, а окремі похідні стали еталонними тестерами [148].

Важливою еволюційною гілкою сорту Reid Yellow Dent є гетерозисна група Iodent, яка сформувалася внаслідок генетичного вдосконалення матеріалу [149]. Центральне місце у її розвитку посідає інбредна лінія PH207, що стала родоначальником більшості сучасних представників цієї групи [150]. Сьогодні генотипи Iodent входять до складу близько 15 % комерційних гібридів, що свідчить про їхню надвисоку селекційну цінність та робить їх ключовими донорами високої комбінаційної здатності для створення вітчизняних скоростиглих форм кукурудзи [114].

Максимальний прояв гетерозису ліній Iodent закономірно фіксується у схрещуваннях із представниками груп Lancaster, BSSS, кременистих зразків та рекомбінантними плазмами. Однією з найважливіших комплементарних груп є Lancaster Sure Crop, що еволюціонувала незалежно від плазми Reid і має відмінне генетичне походження [151]. Її класичні похідні (Mo17, Oh43, C103, C123, Oh40) відзначаються високою специфічною комбінаційною здатністю (СКЗ) у поєднанні з лініями BSSS та Iodent. Зокрема, лінія Mo17 досі залишається еталонним тестером у світовій практиці [152, 153]. Висока комплементарність цих зародкових плазм лягла в основу класичних гетерозисних моделей (BSSS $\times$ Lancaster, Leaming $\times$ Reid, Leaming $\times$ Lancaster), які забезпечили створення значної частини комерційних гібридів другої половини XX століття та довели, що використання перевірених схем радикально скорочує обсяги експериментальних схрещувань [94, 125].

Сучасна селекція значно розширила спектр ефективних моделей завдяки залученню рекомбінантних плазм і нових інбредних ліній, фокусуючись на їхній екологічній спеціалізації. Для жорстких умов Степу України найбільшу практичну цінність мають комбінації Iodent $\times$ Lancaster, BSSS $\times$ Mo17, Iodent $\times$ Oh43, Iodent $\times$ Mo17, а також складні трилінійні схеми за їхньої участі [33, 154]. Ці моделі комплексно поєднують скоростиглість, інтенсивну вологовіддачу, посухостійкість і стабільну врожайність. Важливу роль відіграє також європейська кремениста плазма: міжгрупові схрещування на зразок Lacaune $\times$ Mo17 чи (Oh43 $\times$ B37) $\times$ Lacaune гарантують

оптимальний баланс раннього розвитку, холодостійкості та продуктивності, що критично для регіонів із нестійким температурним режимом [155, 156]. Специфічність реакції цих схем на фактори довкілля експериментально доведено Т. Г. Купріченковою та Є. І. Беліковим: у північному Степу України домінує трикомпонентна модель $(Reid \times Lancaster) \times Mix$, тоді як у південному максимальну стабільність формували гібриди $(Reid \times Lancaster) \times Mix$ та $(Reid \times Reid) \times Mix$ [90].

Отже, конструювання гетерозисних моделей є базовим інструментом керованого використання генетичного різноманіття [36, 157]. Проте їхнє подальше вдосконалення, особливо на тлі глобальних кліматичних змін, неможливе без безперервного розширення донорської бази. Залучення матеріалу зі світових колекцій, зокрема CIMMYT [158, 159] та Національного центру генетичних ресурсів рослин НААН України [160, 161], що дозволить інтегрувати в сучасні селекційні програми нові алелі продуктивності та стійкості. Саме збагачення зародкової плазми забезпечує глибокі фізіологічні трансформації кукурудзи: підвищення ефективності використання водних ресурсів, оптимізацію архітекtonіки та посилення термотолерантності, зокрема через трансгресію форм тропічного походження, які адаптовані до умов помірного клімату [162-164].

Таким чином, ефективність сучасної гетерозисної селекції базується на синергії науково обґрунтованого добору батьківських компонентів, постійному оновленні пулу зародкової плазми та жорсткій екологічній спеціалізації схем схрещування [165]. Для зони південного Степу України стратегічним пріоритетом стає не просто пошук вдалих гібридних комбінацій, а цілеспрямоване формування спеціалізованих адаптивних генетичних комплексів. Лише повна відповідність біологічних особливостей скоростиглого генотипу комплексу обмежувальних екологічних факторів здатна гарантувати стабільну реалізацію його продуктивного потенціалу [166].

В українській селекційній школі формування адаптивних комплексів кукурудзи базується на понятті «південний екотип» – сукупності морфофізіологічних та господарських ознак, що сформувалися в результаті тривалого добору в умовах високих температур та дефіциту вологи [167]. Наукове підґрунтя для виділення таких форм заклав Б. П. Соколов, який ще у 20–30-х роках ХХ століття обґрунтував необхідність створення спеціалізованих інбредних ліній, адаптованих до жорстких умов південного Степу України [108]. На відміну від генетичного визначення гетерозисних груп, екотип відображає, насамперед, екологічну спеціалізацію генотипу, яка проявляється у скороченому вегетаційному періоді, ефективному використанні вологи, високій жаростійкості та стабільній продуктивності [22].

Селекція ліній південного екотипу пов'язана з подоланням біологічних суперечностей, зокрема конфлікту між посухостійкістю та швидкістю вологовіддачі [128]. Ознаки, що забезпечують прискорене висихання качанів (розкриття обгорток, поникання качанів, тонкий стрижень), за умов тривалої посухи можуть призвести до передчасного припинення наливу зерна [121]. Тому селекційна робота вимагає пошуку оптимального балансу між швидкою післязбиральною вологовіддачею та здатністю рослин підтримувати фізіологічну активність протягом усього періоду наливу [24]. Ця стратегія відповідає фундаментальному положенню М. І. Вавілова про географічну диференціацію та необхідність відповідності генотипу умовам середовища [168], що підтверджується сучасними дослідженнями специфічної адаптивності генотипів до конкретних кліматичних зон, науковому районуванню зразків [18, 20].

Провідними центрами дослідження та створення вихідного матеріалу південного екотипу в Україні є Інститут зернових культур НААН (ДУ ІЗК НААН) та Інститут зрошуваного землеробства НААН. Упродовж кількох десятиліть в ДУ ІЗК НААН сформовано одну з найбільших колекцій скоростиглих інбредних ліній кукурудзи, адаптованих до умов Степу

України [169]. На основі цієї колекції створено численні самозапилені лінії та гібриди, які широко використовуються як у державних, так і в приватних селекційних програмах. Особливістю цієї роботи є вдосконалення вихідного матеріалу шляхом безперервного кумулятивного добору та іншого селекційного інструментарію, що забезпечило істотне покращення комплексу адаптивних, морфологічних і господарсько цінних ознак нових поколінь інбредних ліній [21, 25]. Показовою є еволюція зародкової плазми Lancaster (ланцюг А619 → ДК66 → ДК366 → ДК296 → ДК2966), що впродовж 40 років доводить ефективність цілеспрямованої селекції у зростанні продуктивності та посухостійкості [22, 170]. Паралельно Інститут зрошеного землеробства НААН під керівництвом академіка Р. А. Вожегової забезпечує науковий супровід селекції для умов зрошення, що набуває критичної ваги через посилення глобальних кліматичних змін [166, 171].

На відміну від європейських програм, орієнтованих на широку екологічну пластичність [148], поділ на північний та південний екотипи залишається стратегічно виправданим для умов України. Якщо для північних форм пріоритетом є холодостійкість і толерантність до надмірного зволоження, то для південних – інтенсивне накопичення сухої речовини та стабільність за дефіциту вологи [20, 59]. Найперспективнішим напрямом є поєднання в одному генотипі холодостійкості й посухостійкості, що дозволяє застосовувати надранні строки сівби для максимального використання весняних запасів продуктивної вологи та мінімізації негативного впливу літньої спеки [172, 173].

Таким чином, концепція південного екотипу є ключовим вектором української селекції, що інтегрує принципи адаптивності, гетерозисної селекції та формування генотипів, здатних до стабільної реалізації потенціалу в посушливих умовах [22]. Зважаючи на зростання енергетичних витрат на досушування зерна, кліматичну нестабільність та економічні виклики, селекція скоростиглих гібридів стає визначальним чинником

конкурентоспроможності вітчизняного виробництва [174]. Такі гібриди не лише мінімізують ризики втрат урожаю через осінні погодні умови, а й дозволяють оптимізувати використання ресурсів у сівозмінах, що безпосередньо обумовлює наукову актуальність проведеного дослідження [175].

Структура сучасних ранньостиглих гібридів базується на раціональному поєднанні різних типів зародкової плазми, де кожен компонент виконує специфічну селекційну функцію. Кременисті (flint) лінії традиційно є джерелами скоростиглості, високої енергії проростання, холодостійкості на початкових етапах розвитку та інтенсивної вологовіддачі зерна [176]. Однак вони нерідко поступаються зубоподібним (dent) формам за потенціалом урожайності та показниками комбінаційної здатності [177]. Зокрема, залучення зубоподібної зародкової плазми дозволяє суттєво підвищити продуктивність, покращити міцність стебла, стійкість до вилягання, збільшити масу зерна та посилити резистентність до комплексу хвороб [178]. Саме оптимальне поєднання кременистих і зубоподібних компонентів забезпечує синергію скоростиглості, високої продуктивності та адаптивності, що є основою створення конкурентоспроможних ранньостиглих гібридів для умов Степу України [179].

Важливим джерелом генетичного різноманіття у цьому сегменті є французька кремениста плазма Lasaune, представники якої вирізняються високою холодостійкістю, дружністю сходів та інтенсивним початковим ростом [180]. Проте її обмежена жаро- та посухостійкість ускладнює пряме використання в умовах південного Степу, що зумовлює потребу в створенні рекомбінантних генотипів шляхом схрещування з більш адаптованими пізньостиглими зубоподібними лініями [126]. У контексті глобального розширення генетичної бази особливий інтерес становлять ресурси Мексики, Центральної та Південної Америки – центрів походження *Zea mays* L. [49]. Залучення місцевих популяцій, екзотичних рас та спеціалізованих синтетичних популяцій дозволяє збагатити зародкову плазму новими

алелями, що контролюють продуктивність та стійкість до біотичних і абіотичних стресів [20, 27]. Ефективним інструментом тут є використання складних схем гібридизації за участю елітних ліній різного генетичного походження, що дозволяє формувати популяції з широким спектром мінливості та підвищувати ймовірність виділення перспективних ліній із високою комбінаційною здатністю [181].

Сучасна методологія створення самозапиленних ліній кукурудзи ґрунтується на органічній інтеграції класичних і новітніх підходів. Поряд із традиційними методами педигрі селекції, раннього тестування, рекурентного добору та беккросування, дедалі ширше застосовуються біотехнологічні методи, технологія подвійних гаплоїдів, молекулярно-генетичні маркери та геномна селекція. Такий комплексний інструментарій забезпечує прискорене створення ліній із високою генетичною стабільністю, широкою адаптивністю та значним гетерозисним потенціалом. Для селекції скоростиглих гібридів південного екотипу критично важливим є поєднання цих технологій із науково обґрунтованою класифікацією гетерозисних груп, що в результаті створює передумови для формування нового покоління високопродуктивних гібридів, здатних стабільно реалізувати свій потенціал у динамічних кліматичних умовах [102].

1.3. Критерії ідентифікації та оцінки селекційної цінності вихідного матеріалу за еколого-генетичними параметрами

Ефективність сучасної селекції кукурудзи значною мірою визначається якістю вихідного матеріалу та науково обґрунтованими підходами до його оцінювання. Створення нових інбредних ліній і високопродуктивних гібридів неможливе без всебічної характеристики генотипів, що дозволяє прогнозувати їхню селекційну цінність, адаптивний потенціал і перспективність використання у гетерозисній селекції. Тому оцінювання

вихідного матеріалу є одним із ключових етапів селекційного процесу, від якого залежить ефективність добору та темпи генетичного прогресу [182].

Сучасні підходи до ідентифікації селекційно цінних генотипів ґрунтуються на комплексному використанні морфологічних, фенологічних, фізіолого-біохімічних, генетичних, молекулярно-генетичних і статистичних методів. Їх поєднання дає змогу не лише оцінити фенотиповий прояв окремих ознак, а й встановити закономірності їх успадкування, взаємодію із чинниками середовища та внесок у формування продуктивності. Комплексний аналіз істотно підвищує точність оцінювання селекційної цінності генотипів уже на ранніх етапах селекційного процесу [183].

Теоретичною основою сучасної системи оцінювання селекційного матеріалу стали досягнення класичної та кількісної генетики, біометрії й популяційної біології. Закони спадковості, сформульовані Г. Менделем, заклали фундамент розуміння передачі спадкової інформації [184], а праці Р. Фішера започаткували використання математико-статистичних методів для кількісної оцінки впливу генотипу та факторів середовища на формування фенотипу [185]. Подальший розвиток цих положень у роботах С. Райта, Дж. Лаша, Л. Лернера та інших дослідників сприяв становленню кількісної генетики, яка нині є теоретичною базою оцінювання полігенних господарсько цінних ознак [126].

Першим етапом оцінювання селекційного матеріалу є фенотиповий скринінг, який забезпечує швидку диференціацію великої кількості генотипів за комплексом морфологічних і фенологічних характеристик. На ранніх етапах інбридингу найбільшу цінність мають ознаки з високою спадковістю та відносною стабільністю прояву в польових умовах. До них належать тривалість міжфазних періодів розвитку, кількість листків, висота рослин і прикріплення качана, архітектоніка рослини, параметри качана (довжина, діаметр, кількість рядів зерен і зерен у ряду), маса 1000 зерен, тип зерна та інші морфометричні показники. Сукупність цих ознак забезпечує первинне

оцінювання скоростиглості, продуктивності й технологічності селекційного матеріалу [186].

Особливу роль у селекції скоростиглих форм відіграють фенологічні показники, які характеризують темпи проходження основних фаз розвитку рослин. Тривалість періоду «сходи – цвітіння», синхронність цвітіння волоті та качана, інтенсивність наливу зерна, швидкість накопичення сухої речовини, вологість під час збирання й післязбиральної вологовіддачі при доробці зерна є важливими критеріями оцінювання адаптивності генотипів до умов Степу України. Саме ці ознаки визначають можливість створення ранньостиглих гібридів із низькою збиральною вологістю зерна та високою екологічною пластичністю [187].

Разом із тим фенотипові ознаки відображають лише кінцевий результат взаємодії генотипу із середовищем і не завжди дають змогу об'єктивно оцінити спадковий потенціал досліджуваного матеріалу. Один і той самий фенотип може формуватися внаслідок різних генетичних механізмів, тоді як однакові генотипи здатні істотно відрізнитися за проявом ознак залежно від умов вирощування. У зв'язку з цим сучасні підходи до оцінювання селекційної цінності базуються на аналізі взаємодії «генотип $\times$ середовище» ($G \times E$), який дозволяє розмежувати генетичну та екологічну складові фенотипової мінливості й підвищити достовірність прогнозування селекційної перспективності вихідного матеріалу [188].

Концепція комплексного оцінювання кількісних ознак сформувалася завдяки розвитку популяційної та кількісної генетики. Дослідження С. Райта щодо структури популяцій, коефіцієнтів спорідненості та взаємодії генів стали підґрунтям сучасного розуміння полігенної природи більшості господарсько цінних ознак кукурудзи [189]. Це обґрунтувало необхідність використання багатофакторного аналізу, який враховує одночасний вплив генотипу, умов середовища та їх взаємодії під час оцінювання селекційної цінності вихідного матеріалу [190].

На сучасному етапі розвитку селекції оцінювання скоростиглих інбредних ліній ґрунтується на поєднанні традиційних фенотипових методів із молекулярно-генетичними, біометричними та еколого-генетичними підходами [191]. Така інтегрована система забезпечує більш повне оцінювання генотипів, дозволяє прогнозувати їхню комбінаційну здатність, належність до гетерозисних груп і перспективність використання при створенні нових адаптивних гібридів. Саме комплексне застосування зазначених підходів становить методологічну основу сучасної ідентифікації скоростиглих ліній південного екотипу [192].

Не менш важливим напрямом сучасної фізіологічної селекції є оцінювання ефективності використання елементів мінерального живлення, насамперед, азоту. Одним із ключових показників є ефективність використання азоту (Nitrogen Use Efficiency (NUE)), яка характеризує здатність генотипу забезпечувати високу продуктивність за обмеженого азотного живлення та відображає ефективність процесів поглинання, транспортування, асиміляції й реутилізації азотних сполук [193]. В умовах зростання вартості мінеральних добрив, необхідності зменшення антропогенного навантаження на довкілля, та впровадження принципів сталого землеробства, селекція на підвищення NUE набуває особливого значення. Генотипи з високою ефективністю використання азоту забезпечують раціональніше використання ресурсів, зменшують непродуктивні втрати азоту та сприяють екологічній стійкості агроecosистем [194].

Важливим компонентом адаптивного потенціалу рослин є архітектоніка кореневої системи, яка визначає ефективність використання ґрунтової вологи й елементів живлення, механічну стійкість рослин та їхню посухостійкість [195]. Основними показниками її розвитку є глибина проникнення коренів, кут їх відходження, загальна довжина, інтенсивність галуження, площа поглинальної поверхні та співвідношення між осьовими і бічними коренями. Сукупність цих ознак характеризує здатність рослин

використовувати запаси продуктивної вологи з різних горизонтів ґрунту та підтримувати водний баланс у критичні періоди розвитку [196]. Для скоростиглих ліній південного екотипу найбільшу селекційну цінність становлять генотипи з потужною вертикально орієнтованою кореневою системою, здатною ефективно функціонувати в умовах літньої посухи.

Однією з важливих характеристик є також механічна міцність кореневої системи, яку оцінюють за стійкістю рослин до виривання або кореневого вилягання [197]. Цей показник інтегрально характеризує розвиток коренів і надійність їх закріплення в ґрунті. Для сучасних високопродуктивних гібридів, що вирощуються за інтенсивними технологіями, стійкість до кореневого вилягання є важливою господарсько цінною ознакою, оскільки забезпечує стабільність урожайності та придатність до механізованого збирання. Найбільшу практичну цінність мають генотипи, які поєднують добре розвинену кореневу систему з високою механічною міцністю [198].

Отже, сучасні підходи до оцінювання селекційної цінності вихідного матеріалу ґрунтуються на поєднанні морфологічних, фізіологічних, біохімічних та еколого-генетичних показників. Комплексний аналіз фотосинтетичної активності, антиоксидантного захисту, ефективності використання азоту, особливостей розвитку кореневої системи та класичних морфологічних ознак підвищує точність добору перспективних генотипів і дає змогу прогнозувати їхній адаптивний потенціал та селекційну цінність [199].

Важливим напрямом сучасної селекції є кількісна оцінка реакції генотипів на зміну умов середовища. Для цього широко використовують методи аналізу взаємодії «генотип $\times$ середовище» (Genotype $\times$ Environment (G $\times$ E)), які дозволяють оцінити екологічну пластичність, стабільність і адаптивність селекційного матеріалу. Однією з класичних моделей є методика С. Еберхарта та В. Рассела, що базується на регресійному аналізі продуктивності генотипів у різних умовах вирощування [200].

Подальший розвиток методів оцінювання пов'язаний із впровадженням геномної селекції (Genomic Selection (GS)), яка є одним із найбільш перспективних напрямів сучасної селекції рослин [201]. На відміну від маркер-асоційованого добору, що ґрунтується на використанні окремих локусів або QTL, геномна селекція враховує інформацію про тисячі однонуклеотидних поліморфізмів (SNP), рівномірно розподілених по всьому геному. Це дає можливість прогнозувати прояв складних полігенних ознак, зокрема, врожайності, скоростиглості, комбінаційної здатності, посухостійкості та адаптивності [202].

Основою геномної селекції є розрахунок геномно прогнозованої селекційної цінності (Genomic Estimated Breeding Value (GEBV)), що дозволяє оцінити потенціал генотипів ще до проведення повномасштабних польових випробувань [203]. Поєднання геномного прогнозування з технологією подвоєних гаплоїдів, високопродуктивним фенотипуванням і сучасними біометричними моделями істотно скорочує тривалість селекційного циклу та підвищує ефективність добору [204].

Поряд із розвитком молекулярно-генетичних методів швидко розвиваються технології високопродуктивного фенотипування (High-Throughput Phenotyping (HTP)), які забезпечують автоматизоване оцінювання морфологічних, фізіологічних і біофізичних характеристик рослин протягом усього періоду вегетації [205]. На відміну від традиційних польових спостережень, HTP-технології дозволяють отримувати стандартизовані кількісні дані з високою точністю, що значно підвищує об'єктивність оцінювання селекційного матеріалу.

Сучасні платформи оцінки фенотипу базуються на використанні безпілотних літальних апаратів, мобільних наземних систем і стаціонарних сенсорних комплексів, оснащених мультиспектральними, гіперспектральними, тепловізійними, RGB-камерами та LiDAR-датчиками [206]. Вони забезпечують оперативне визначення нормалізованого диференційного вегетаційного індексу (NDVI), індексу фотохімічної

активності (PRI), температури листкового покриву, площі листкової поверхні, темпів накопичення біомаси та інших показників, що характеризують фізіологічний стан рослин [207].

Для комплексного аналізу взаємодії «генотип $\times$ середовище» поряд із класичною моделлю Еберхарта–Рассела дедалі ширше застосовують багатовимірні статистичні методи. Одним із найбільш інформативних є модель АММІ (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction), яка поєднує дисперсійний аналіз із методом головних компонент і дозволяє оцінити внесок генотипу, середовища та їх взаємодії у формування фенотипу [208]. Це дає можливість виявляти генотипи зі стабільною продуктивністю або специфічною адаптивністю до окремих умов вирощування.

Широкого застосування набув також метод GGE biplot (Genotype + Genotype $\times$ Environment), який забезпечує графічну інтерпретацію взаємодії генотипів із різними середовищами та дозволяє одночасно оцінювати продуктивність, стабільність і специфічну адаптивність селекційного матеріалу [209, 210]. Для умов України цей підхід є особливо актуальним через значну різноманітність ґрунтово-кліматичних умов і високу мінливість погодних факторів за роками [211, 212].

Таким чином, сучасна система оцінювання селекційної цінності вихідного матеріалу базується на інтеграції результатів фенотипових, фізіолого-біохімічних, молекулярно-генетичних та біометричних досліджень. Поєднання класичних селекційних підходів із технологіями геномного прогнозування, високопродуктивного фенотипування та аналізу взаємодії «генотип $\times$ середовище» створює наукове підґрунтя для ефективної ідентифікації скоростиглих ліній південного екотипу, прогнозування їхньої комбінаційної здатності та створення високопродуктивних гетерозисних гібридів, адаптованих до сучасних кліматичних умов України [213, 214].

Одним із ключових етапів оцінювання селекційного матеріалу є визначення комбінаційної здатності інбредних ліній, яка характеризує їхній потенціал формувати високопродуктивні гетерозисні гібриди. Саме цей

показник визначає практичну цінність вихідного матеріалу, оскільки навіть батьківські компоненти з високою продуктивністю не завжди забезпечують одержання конкурентоспроможних гібридів. Тому аналіз комбінаційної здатності є завершальним етапом комплексної оцінки селекційного матеріалу і одним із головних критеріїв добору батьківських компонентів для синтезу ефективних гетерозисних моделей [215].

Суттєвий розвиток теорії гетерозисної селекції пов'язаний із роботами Дж. Спрега та Л. Татума, які сформулювали концепцію загальної та специфічної комбінаційної здатності (General Combining Ability (GCA); Specific Combining Ability (SCA)) [216]. Запропонована ними модель стала теоретичною основою оцінювання інбредних ліній кукурудзи та згодом для інших перехреснозапильних культур.

Загальна комбінаційна здатність (ЗКЗ) характеризує середню селекційну цінність лінії в системі множинних схрещувань і відображає переважно дію адитивних генетичних ефектів. Високі значення ЗКЗ свідчать про здатність генотипу стабільно передавати потомству господарсько цінні ознаки незалежно від партнера у схрещуванні. Такі лінії є важливими донорами продуктивності, скоростиглості, адаптивності та стійкості до біотичних і абіотичних чинників, тому широко використовуються у створенні нових гетерозисних груп. Особливу цінність для селекції скоростиглих форм південного екотипу становлять генотипи, які поєднують високу ЗКЗ із комплексом адаптивних ознак, що забезпечують стабільну продуктивність за дефіциту вологи та високих температур [217].

На відміну від ЗКЗ, специфічна комбінаційна здатність (СКЗ) характеризує ефективність взаємодії конкретної пари батьківських форм і відображає внесок неадитивних генетичних ефектів – домінування, наддомінування та епістазу [218]. Високі значення СКЗ свідчать про сприятливу комплементарність геномів і є генетичною основою прояву гетерозису. Практика селекції показує, що максимальний гетерозисний ефект часто забезпечують не лінії з найвищою ЗКЗ, а генотипи, які формують

найефективніші специфічні комбінації. Тому визначення СКЗ є необхідною складовою добору перспективних батьківських компонентів [219].

Параметри ЗКЗ і СКЗ визначають за результатами контрольованих схрещувань із використанням дисперсійного аналізу. Найпоширенішими є діалельні схеми Б. Гріффінга, топкросне тестування та інші модифікації неповних діалельних схрещувань [220]. Їх застосування дозволяє розділити фенотипову мінливість на адитивну та неадитивну складові, оцінити характер генетичного контролю господарсько цінних ознак і визначити найбільш перспективні напрями селекції [221].

На сучасному етапі аналіз комбінаційної здатності дедалі частіше поєднують із методами молекулярної генетики та геномного прогнозування. Інтеграція результатів тестових схрещувань із даними SNP-генотипування, аналізом гаплотипів і моделями геномної селекції підвищує точність прогнозування гетерозисного ефекту ще до проведення багаторічних польових випробувань [222].

Важливим доповненням до оцінювання комбінаційної здатності є визначення генетичної дивергенції між потенційними батьківськими компонентами. Розвиток молекулярної генетики, започаткований після встановлення структури ДНК Дж. Вотсоном і Ф. Кріком, створив передумови для переходу від фенотипової до генотипової оцінки селекційного матеріалу [223].

Сьогодні рівень генетичної спорідненості між інбредними лініями визначають за допомогою молекулярних маркерів SSR, AFLP, SNP, DArT та інших високополіморфних систем [224]. Аналіз генетичних дистанцій, кластеризація та побудова дендрограм дозволяють визначити належність ліній до певних гетерозисних груп, оцінити ступінь їхньої генетичної віддаленості та прогнозувати ймовірний рівень гетерозису [225]. Хоча величина генетичної дистанції не завжди прямо пов'язана з продуктивністю гібридів, використання молекулярних маркерів значно підвищує

ефективність добору батьківських компонентів і скорочує обсяг експериментальних схрещувань [226].

Таким чином, оцінювання селекційної цінності інбредних ліній базується на поєднанні аналізу комбінаційної здатності, визначення генетичної дивергенції та сучасних молекулярно-генетичних методів. Їх інтегроване використання забезпечує об'єктивну ідентифікацію перспективного вихідного матеріалу, прогнозування його селекційного потенціалу та цілеспрямований добір батьківських компонентів для створення високопродуктивних гетерозисних гібридів.

Отже, сучасна система оцінювання вихідного матеріалу кукурудзи поєднує результати польових досліджень, аналіз комбінаційної здатності, еколого-генетичні, фізіолого-біохімічні та молекулярно-генетичні методи, а також геномне прогнозування [227]. Комплексне застосування цих підходів підвищує точність добору перспективних інбредних ліній, дозволяє ефективніше прогнозувати їхню селекційну цінність і скорочує тривалість селекційного процесу, що є важливою передумовою створення високопродуктивних гібридів, адаптованих до сучасних кліматичних умов.

Висновки до розділу 1

1. Аналіз сучасних літературних джерел свідчить, що подальший розвиток селекції кукурудзи нерозривно пов'язаний із розширенням генетичного різноманіття вихідного матеріалу, удосконаленням гетерозисних моделей та інтеграцією класичних і молекулярно-генетичних методів добору. Ефективність створення нових гібридів визначається, насамперед, якістю інбредних ліній, їхньою генетичною структурою, комбінаційною здатністю та адаптивністю до конкретних ґрунтово-кліматичних умов.

2. Узагальнення результатів досліджень вітчизняних і зарубіжних учених підтверджує, що для умов Степу України найбільш перспективним напрямом є селекція скоростиглих ліній південного екотипу, які поєднують високу продуктивність, інтенсивну вологовіддачу зерна, посухо- і

жаростійкість, стабільну комбінаційну здатність та здатність формувати високий гетерозисний ефект у сучасних моделях гібридів.

3. Незважаючи на значні досягнення у вивченні гетерозисних груп Reid (BSSS), Lancaster, Iodent, Lacaune та інших зародкових плазм, питання системної ідентифікації скоростиглих інбредних ліній південного екотипу, визначення їхньої генетичної належності, адаптивного потенціалу та ефективності використання в сучасних гетерозисних моделях залишаються недостатньо дослідженими і потребують подальшого наукового обґрунтування.

4. Сучасна оцінка селекційної цінності вихідного матеріалу повинна базуватися на комплексному використанні фенотипових, фізіолого-біохімічних, еколого-генетичних, молекулярно-генетичних і біометричних методів дослідження. Інтеграція аналізу комбінаційної здатності, генетичної дивергенції, моделей взаємодії «генотип $\times$ середовище», геномного прогнозування та високопродуктивного фенотипування, що істотно підвищує точність добору перспективних генотипів і скорочує тривалість селекційного процесу.

5. Проведений аналіз літератури свідчить про відсутність єдиної комплексної системи оцінювання скоростиглих ліній південного екотипу, яка б одночасно враховувала їхнє походження, належність до гетерозисних груп, комбінаційну здатність, рівень адаптивності та господарську цінність. Саме вирішення цієї наукової проблеми є передумовою ефективного створення нових високопродуктивних гібридів кукурудзи, що визначає актуальність і наукову новизну представленого дисертаційного дослідження.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА, МАТЕРІАЛИ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Загальна ґрунтово–кліматична характеристика місця проведення досліджень

Протягом 2023–2025 рр. на дослідних угіддях Державної установи «Інститут зернових культур НААН України» було розгорнуто експериментальну частину роботи. За геоморфологічним поділом дослідний стаціонар локалізований у правобережній частині р. Дніпро, охоплюючи південно–східні масиви Придніпровської височини, де показники абсолютних висот фіксуються в межах 130–140 м над рівнем моря. Зважаючи на чинну схему природно–сільськогосподарського районування, експериментальний майданчик територіально інтегрований у зону північного Степу України. Локалізація об'єкта досліджень визначається такими географічними координатами: 48°27' північної широти та 35°03' східної довготи [228].

Адміністративно–територіально Дніпропетровська область займає південно–східний сектор Східноєвропейської рівнини. Геоморфологічна структура регіону відзначається хвилястим рівнинним рельєфом із коливанням абсолютних висот від 100 до 200 м над рівнем моря. Фізико–географічний поділ відносить цю територію до північностепової підзони загальної степової зони України [229]. Генезис місцевих ґрунтів відбувався переважно під впливом різнотравно–ковилових та пирійних фітоценозів, що зумовило домінування у ґрунтовому покриві чорноземів звичайних (мало– та середньогумусних). Сучасний стан земельних ресурсів регіону свідчить про глибоку антропогенну трансформацію: у загальній структурі сільськогосподарських угідь на долю ріллі припадає орієнтовно 90 % [230].

Специфіка агрокліматичного потенціалу досліджуваної зони визначається помірно континентальним кліматичним режимом із виразним

дефіцитом та нестабільністю зволоження [231]. Опираючись на багаторічні метеодані Дніпропетровського обласного центру з гідрометеорології, середній річний температурний показник становить $+8,7^{\circ}\text{C}$. Річна сума опадів у середньому дорівнює 459 мм, хоча фіксуються значні міжрічні коливання в діапазоні від 250 до 700 мм [232]. Етап активного вегетування культур (що починається після стійкого перетину середньодобовими температурами відмітки $+10^{\circ}\text{C}$) припадає на другу–третю декади квітня. Цій міжфазний інтервал триває близько 160–170 діб, забезпечуючи накопичення суми ефективних температур на рівні 1800–2200 $^{\circ}\text{C}$. Такі теплоресурси цілком задовольняють ендегенні вимоги середньопізніх гібридів кукурудзи. Завершення весняних заморозків зазвичай реєструють наприкінці квітня (третя декада), тоді як дебют осінніх приморозків здебільшого фіксується на початку жовтня (перша декада) [233, 234].

Розподіл атмосферних опадів у регіоні має виразний сезонний характер: основний обсяг річної вологи (приблизно 70 %) випадає протягом весняно–літніх місяців. Водночас їхня реальна агрономічна цінність знижується через переважно зливову форму дощів, що посилює поверхневий стік і лімітує акумуляцію продуктивної вологи в кореневмісному горизонті ґрунту. Інтенсивна сонячна радіація на тлі істотного дефіциту вологи в повітрі форсує сумарне випаровування (евапотранспірацію), зумовлюючи швидке зневоднення профілю. Посилення аридних тенденцій клімату відбувається внаслідок асинхронності між випаданням опадів та проходженням етапів органогенезу кукурудзи, що стає каталізатором комплексних ґрунтово–атмосферних посух. Як наслідок, порушується водний баланс (гомеостаз) рослинного організму, гальмуються обмінні процеси та блокується формування потенційної продуктивності гібридів і самозапилених ліній. Гідротермічний тиск на посіви посилюється через дію суховіїв південно–східного походження, які пригнічують фотосинтез і прискорюють деградацію листкового апарату, деструктивно впливаючи на генетично обумовлений рівень насіннєвої продуктивності [232, 234].

Весна в регіоні відзначається стрімким наростанням позитивних температур, що форсує танення снігу й забезпечує швидкий прогрів орного шару. Для літнього періоду характерне домінування температурного стресу та регулярні хвилі спеки. У пікові посушливі періоди максимальні температури повітря можуть зростати до $+36\text{--}38\text{ }^{\circ}\text{C}$ у поєднанні з низькою відносною вологістю. Головним обмежувальним фактором, який стримує розкриття біологічного потенціалу врожайності кукурудзи в умовах північної степової підзони, залишається гострий дефіцит доступної вологи в ґрунті, особливо під час проходження критичних за вологозабезпеченням фаз розвитку [235].

Структура ґрунтової макрокомбінації на дослідних ділянках представлена здебільшого повнопрофільними малогумусними чорноземами звичайними (орієнтовно 70 % площі) та їхніми змитими (слабоеродованими) різновидами (близько 25 %). Морфогенетичний опис типових повнопрофільних аналогів свідчить про концентрацію гумусу в шарі 0–30 см на рівні 3,0–3,5 %. Особливості гідрологічного стану досліджуваної території пов'язані з низьким рівнем залягання дзеркала ґрунтових вод (8–12 м), унаслідок чого формується суто атмосферний характер зволоження ґрунтової товщі [236].

Результати агрохімічного аналізу орного горизонту вказують на задовільний стан забезпеченості рослин макроелементами: концентрація валового азоту дорівнює 0,18 – 0,23 %, рухомих форм фосфору (P_2O_5) становить 100 – 150 мг/кг, а обмінного калію (K_2O) 200–300 мг/кг сухої маси ґрунту. Показник реакції ґрунтового середовища (pH) у межах гумусового профілю коливається від 6,75 до 7,29, демонструючи нейтральну або близьку до неї реакцію. Серед катіонів ґрунтового вбирного комплексу ключова роль належить обмінним формам кальцію (Ca^{2+}) та магнію (Mg^{2+}) [237].

Отже, узагальнена оцінка едафо–кліматичних умов підтверджує, що фізико–географічні параметри дослідної території повністю репрезентують північну підзони українського Степу. Накладання високої природної

родючості звичайних чорноземів на дефіцитний і нестабільний характер вологозабезпечення в умовах наростання кліматичної аридності формує унікальне гідротермічне середовище. Наведений комплекс чинників є репрезентативним для проведення всебічного моніторингу адаптивного потенціалу та насінневої продуктивності гібридів і самозапилених ліній кукурудзи різних лінійок стиглості. Окрім того, це дає змогу чітко диференціювати їхню толерантність до стресових факторів довкілля, гарантуючи високу вірогідність, об'єктивність та науково–практичне значення сформульованих висновків [238].

2.2 Погодні умови в роки досліджень

Оцінювання гідрометеорологічної ситуації протягом років закладання польових дослідів базується на офіційних метеорологічних показниках, наданих Дніпропетровським регіональним центром з гідрометеорології (рис. 1, 2).

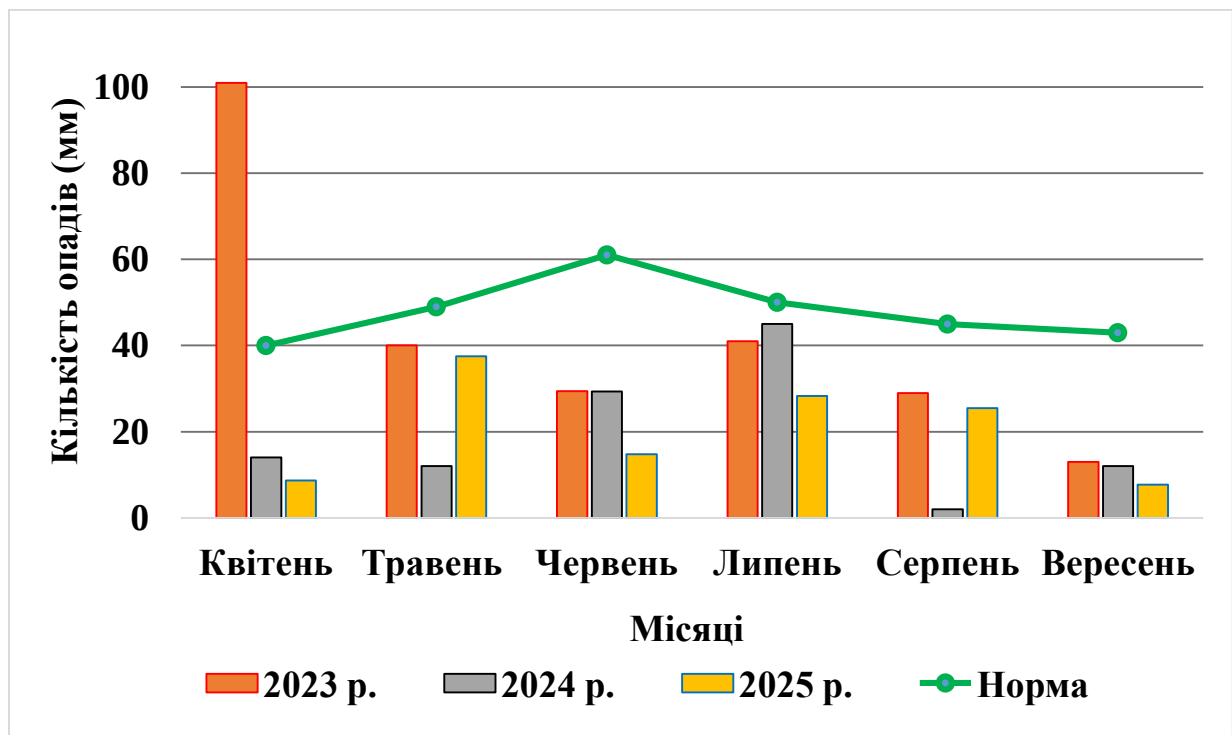


Рис. 1 Кількість опадів (мм) за вегетаційні періоди 2023–2025 рр.

Забезпечення стабільної продуктивності агроценозів та раціональне природокористування нерозривно пов'язані з детальним урахуванням місцевих екологічних факторів та ефективним залученням кліматичних ресурсів регіону. Саме тому з кожним роком посилюється роль узагальненої за багаторічний період метеорологічної статистики, яка дозволяє об'єктивно оцінити динаміку гідротермічного режиму та ступінь його відповідності біологічним потребам культури [239].

У 2023 році посівна кампанія на селекційному розсаднику відбулася 7 травня. Протягом вегетаційного циклу сумарний обсяг атмосферного зволоження досяг 247,4 мм, поступаючись середньобагаторічній нормі на 40,6 мм. Варто відзначити, що квітневий рівень опадів перевищив кліматичний стандарт більш ніж на 60 мм. Проте в наступні місяці фіксувалася нестача вологи порівняно з багаторічними значеннями: травневий дефіцит склав 15,2 мм, червневий – 31,6 мм, липневий – 8,9 мм, серпневий – 16,0 мм, а вересневий – 29,6 мм.

Рясні дощі у квітні та травні зумовили належний стартовий стан посівів кукурудзи, хоча температурні мінімуми на початку травня призвели до певного гальмування ростових процесів. Водночас надмірне весняне зволоження спровокувало активне поширення бур'янової рослинності, що створило додаткове конкурентне середовище для культури. У цілому весна виявилася доволі сприятливою, але подальша посуха та температурні максимуми під час наливу зерна зумовили його щуплість. Це спричинило недобір врожаю на рівні 10–15 %, що особливо відчувалося на ділянках пізніх строків сівби через їхню вищу вразливість до стресорів.

Наступного, 2024 року, агрометеорологічний фон виявився критично несприятливим. Сівбу кукурудзи провели 29 квітня. Обсяг атмосферних опадів за час вегетації склав рекордно низькі 112,8 мм – це абсолютний мінімум за останні 30 років метеоспостережень. Максимум вологи зафіксовано в липні – 44,7 мм (при кліматичній нормі 50 мм), натомість у серпні цей показник по області впав до 1,6 мм, тобто становив лише 3,3 % від

стандарту. Гострий дефіцит дощів, що супроводжувався ґрунтово–повітряною посухою (надто на етапах цвітіння та наливу), катастрофічно вплинув на кількісні та якісні параметри врожаю. Як наслідок, середня продуктивність кукурудзи у 2024 році впала на 37 % відносно показників 2023 року [240, 241].

У 2025 році тривала післядія посушливого 2024 року: запаси ґрунтової вологи не відновилися, а глибина промочування метрового профілю обмежилася 50–60 см. Сезон відзначався підвищеним тепловим фоном та асиметричним випаданням дощів. Закладання досліду відбулося 8 травня. Квітнева сума опадів склала лише 8,7 мм (проти норми 40 мм), що суттєво стримувало акумуляцію продуктивної вологи на старті сезону. Травневий показник сягнув 37,5 мм (норма – 49 мм), чого виявилось достатньо для отримання сходів, але замало для повноцінного зволоження ґрунту. Червневий рівень опадів зупинився на позначці 14,8 мм (за багаторічної норми 61 мм), спровокувавши жорсткий дефіцит вологи у фазу активного вегетативного розвитку.

Липень, як критичний рубіж формування генеративних органів, приніс 28,3 мм опадів (при нормі 50 мм). На тлі спеки це посилило водний стрес, викликало опіки на листі, стерильність качанів, череззерницю та навіть загибель рослин на пізніх посівах. Серпневі опади склали 25,5 мм (норма 45 мм), скоротивши період наливу зерна. Вересневі 7,7 мм опадів (норма 43 мм) лише підтвердили продовження посухи. Сукупний жорсткий гідротермічний стрес 2025 року хоча й знівелював урожайну різницю між багатьма гібридами, проте дав змогу чітко ідентифікувати найбільш стійкі генотипи.

Аналіз термічного режиму 2023 року свідчить, що він здебільшого відповідав багаторічним нормам, за винятком серпнево–вересневого періоду, коли фіксувалося перевищення стандарту на 2,3 та 3,1 °C відповідно. Під час посівних робіт (7 травня) ґрунт на глибині 10 см прогрівся до 12–17 °C. Завдяки квітневим зливам запаси продуктивної вологи у горизонтах 0–20 см та 0–100 см налічували 21–49 мм та 121–170 мм відповідно. Це гарантувало

масову появу сходів вже на 10–12 добу. Остання декада травня відзначилася похолоданням із середньодобовими показниками 16,3–18,9 °С. Максимальна температура повітря сягала 25,6 °С, ґрунту – 44,5 °С, тоді як мінімуми опускалися до 12,5 °С та 10,9 °С відповідно. Загальномісячна температура травня склала 16,1 °С, що на 0,4 °С менше за кліматичну норму. У підсумку травень 2023 року продемонстрував типovu для Дніпропетровщини мінливість із чергуванням помірного тепла та опадів.

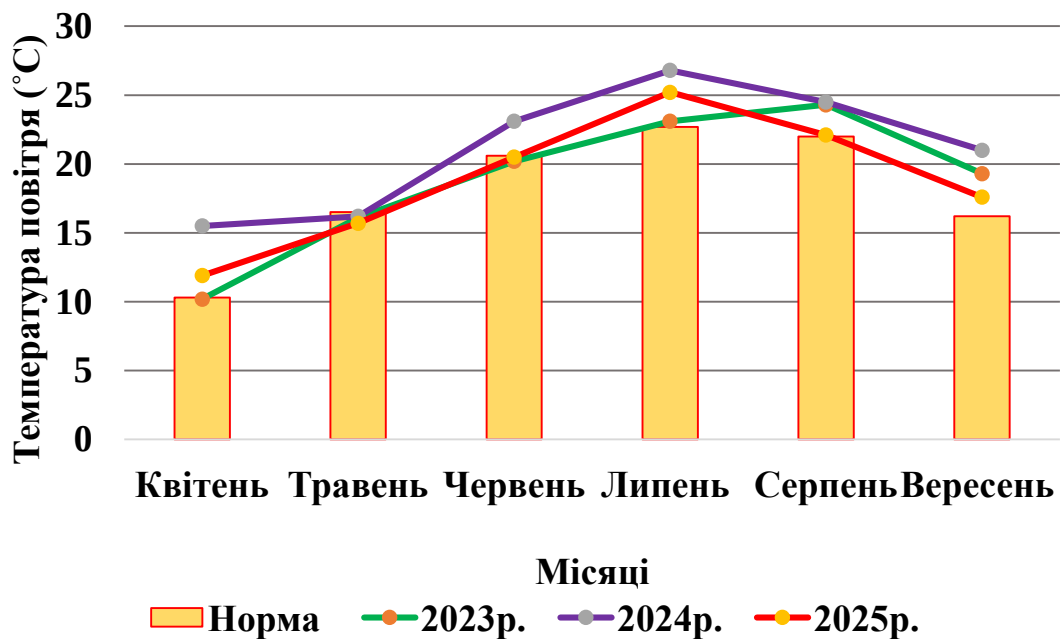


Рис. 2 Температура повітря (°С) за вегетаційні періоди 2023–2025 рр.

На старті вегетації 2024 року (у травні) зафіксовано раптове похолодання до +10 °С, що загальмувало розвиток рослин. Наслідком ґрунтових приморозків стало локальне підмерзання листкових пластинок. Проте з другої половини місяця різко потеплішало до +28 °С, активізувавши ростові процеси. Липнева спека виявилася екстремальною: середня температура сягнула 26,8 °С (при нормі 22,7 °С), що призвело до стерилізації пилку та неповноцінного озернення качанів. Удень рослини втрачали тургор, а їхній листковий апарат передчасно відмирав. Такий температурний стрес форсував проходження етапів онтогенезу та прискорив дозрівання насіння. Як наслідок, збиральну кампанію розпочали аномально рано – в останній

декаді серпня, а розбіжності між гібридами за збиральною вологістю зерна були мінімальними.

Протягом 2025 року термічний фон залишався стабільно високим, передусім у літні місяці. Квітень відзначився раннім встановленням стійких позитивних температур, забезпечивши своєчасне прогрівання ґрунту для старту посівної. Однак на початку травня стався різкий температурний спад із потужними приморозками як на поверхні ґрунту, так і в приземному шарі повітря. Подібних за інтенсивністю та тривалістю явищ не фіксувалося протягом останніх двох десятиліть. Вони спричинили стрес для молодих сходів, пошкодження листя, пригнічення росту та асинхронність розвитку кукурудзи.

Згодом травневий температурний режим стабілізувався, дозволивши посівам відновитися. Проте червень та липень продемонстрували суттєве перевищення кліматичної норми, що форсувало вегетативні й генеративні фази. Найбільший термічний тиск припав на липень, посиливши згубний вплив дефіциту вологи під час запилення та наливу зерна. Серпневий температурний режим наблизився до оптимуму, сприяючи дозріванню, а теплий вересень дозволив культурі безперешкодно завершити цикл та знизити вологість насіння.

Підсумовуючи агрометеорологічну ситуацію 2023–2025 рр. у Дніпропетровській області, можна констатувати високу нестабільність термічного та гідрологічного режимів, що диференційовано впливала на ріст і продуктивність кукурудзи. У 2023 році переважали близькі до норми температурні умови з надлишковим весняним зволоженням, хоча посуха наприкінці літа призвела до часткової втрати врожаю. Сезон 2024 року виявився найбільш контрастним: весняні холоди змінилися жорсткою спекою та критичною відсутністю опадів, що різко обвалило продуктивність посівів.

У 2025 році спостерігалось поєднання аномальних весняних приморозків зі стійким літнім дефіцитом вологи та спекою, що пришвидшило фенологічні фази і посилило стрес рослин. Виявлені тенденції

до наростання потепління та аридності підтверджують ключову роль погодних факторів у формуванні врожаю та гостру необхідність впровадження у виробництво адаптивних гібридів у комплексі з ресурсоощадними агротехнологіями.

2.3 Методика проведення досліджень і вихідний матеріал

Польовий етап експериментів тривав протягом 2023–2025 рр. на дослідних полях ДУ «Інститут зернових культур НААН» (м. Дніпро). Кліматична зона Північного Степу, де проводилися польові випробування, характеризується посушливими умовами та високими літніми температурами, що дало змогу об'єктивно протестувати адаптивний потенціал генотипів до абіотичних стресорів. Досліди закладали за чинними протоколами польового сортовипробування [242–245] у селекційній двопільній сівозміні, де попередником виступав ячмінь ярий. Щоб усунути вплив ґрунтової строкатості, застосовували рендомізоване розміщення ділянок у трьох повтореннях. Облікова площа стандартної селекційної ділянки становила 4,9 м², тоді як тесткроси у контрольному розсаднику висівали на дворядкових ділянках площею 9,8 м².

Система обробітку ґрунту та догляду за посівами повністю відповідала зональним рекомендаціям. Основний і передпосівний обробіток включав осіннє перехресне лушення стерні у два сліди із подальшою зяблевою оранкою на глибину 28–30 см. Навесні вологу закривали боронуванням, після чого проводили першу культивуацію на глибину (10–12 см) та передпосівну (5–6 см) з одночасним внесенням мінеральних добрив N₆₀P₆₀K₆₀ у дозі 250 кг/га. Гербіцидний захист передбачав внесення ґрунтового препарату Харнес к.е. (2,0 л/га) під передпосівну культивуацію, а також страхового гербіциду Лаудіс (0,5 кг/га) з прилипачем Мєро (1,5 л/га) у фазу 6–8 листків культури. Посівна кампанія тривала з кінця квітня до початку травня за умови стійкого прогрівання ґрунту до 10–12 °С. Тесткроси висівали

вакуумним агрегатом точного висіву HALDRUP SP-35, а селекційний розсадник спеціалізованою селекційною сівалкою. Густоту стояння коригували механічно у фазу 3–5 листків (ЕС 13–17 за шкалою BBCH), залишаючи 45 тис. рослин на гектар у селекційному розсаднику та 60 тис./га – у контрольному.

Для вивчення було залучено 302 ранньостиглі інбредні сім'ї кукурудзи генерацій S_4 – S_6 , які виділили шляхом жорсткого добору з генетичної плазми змішаного типу (Mix). Ця плазма сформована на базі схрещування Iodent $\times$ BSSS, що забезпечує її високу комбінаційну здатність із кременистими європейськими лініями та плазмою Lancaster. Зазначений генофонд є результатом цілеспрямованого покращення інтродукованого матеріалу за програмами інституту в 2020–2022 роках. Базовими формами для синтезу досліджуваного матеріалу слугували сім гібридних комбінацій (ДК2815 $\times$ ДК247МВ, ДК2815 $\times$ ДК315, ДК2815 $\times$ ДК3152, ДК2835 $\times$ ДК3152, ДК2835 $\times$ ДК247МВ, ДК3152 $\times$ ДК247МВ, ДК3152 $\times$ ДК285/315), об'єднаних спільною лінією ДК315СВЗМ. Селекційний алгоритм, починаючи з покоління S_4 , передбачав суворий фенотиповий добір, самозапилення та оцінку на скоростиглість. Рослини, схильні до ламкості стебла, вилягання чи ураження патогенами, жорстко вибраковували, при цьому інтенсивність відбору дозволяла залишити лише 35–50 % найвитриваліших форм.

Комбінаційну здатність сімей S_4 та S_5 вивчали за топкросною схемою. У якості тестерів застосували два сестринські гібриди (ДК4315М $\times$ ДК4404 і ДК2965С $\times$ ДК2329) та самозапилену лінію ДК 2239. Як контрольні форми, що розміщувалися через кожні 30 номерів, використовували офіційно зареєстровані гібриди. Серед них – гібрид універсального напрямку ДН Пульсація (ФАО 210) з потенціалом урожайності 8,0 т/га, високою стійкістю до сажки та масою 1000 зерен 260 г. Також використовували середньоранній гібрид зернового напрямку ДН Хотин (ФАО 280), який відзначається стабільністю врожаїв (до 12,3 т/га), посухостійкістю та масою 1000 зерен на рівні 280–300 г. Третім стандартом виступав високорослий

гібрид ДН Астра (ФАО 270) з потенціалом 13,5 т/га, що характеризується інтенсивною вологовіддачею, жаростійкістю, стійкістю до вилягання та масою 1000 зерен 300–310 г.

У процесі вегетації на ділянках розсадників здійснювали детальний моніторинг, аналізуючи вибірки з 10–20 типових екземплярів кожної лінії чи гібрида. Фенологічні спостереження передбачали фіксацію появи повних сходів та дат цвітіння 50 % волотей і качанів для розрахунку міжфазних періодів. Біометричні вимірювання включали визначення висоти рослин та висоти прикріплення першого господарсько-цінного качана. Крім того, здійснювали облік передзбиральної густоти, відсотка уражених пухирчастою сажкою, безплідних і вилеглих рослин [246]. Структурний аналіз передбачав визначення морфотипу за класифікаторами [247, 248], вимір довжини й товщини качанів, підрахунок рядів і зерен, а також маси 1000 насінин.

Збирання врожаю здійснювали прямим комбайнуванням спецтехнікою «Wintersteiger Nursery Master Elite». Завдяки бортовій системі та комп'ютеру HarvestMaster відбувалося автоматичне зважування та визначення вологості насіння безпосередньо з ділянки, після чого показники перераховували на гектарну Урожайність при базовій вологості 14 %.

Математичний аналіз зібраних цифрових масивів здійснювався методами двофакторного дисперсійного, регресійного та кореляційного аналізів на базі алгоритмів Д. Монтгомері [245], Л. О. Атраментової [249, 250] та А. В. Адегова [251]. Параметри комбінаційної здатності обчислювали за системою неповних тесткросів, використовуючи узагальнені методології моделей Гріффінга та Кемпторна [252]. Оцінку екологічної пластичності та стабільності проводили за сучасними підходами І. С. Олівейра [253], а також із використанням сучасних методів аналізу взаємодії «генотип × середовище» [254, 255]. Первинна систематизація даних відбувалася у Microsoft Excel, а поглиблена біометрична експертиза – у спеціалізованих програмах Statistica 6.0 та PAST 4.03 [256], що дозволило достовірно диференціювати вплив факторів середовища та генотипу.

Висновки до розділу 2:

1. Агрофізичні та хімічні властивості ґрунтового покриву ДУ ІЗК НААН є оптимальними для вирощування зернової кукурудзи різних груп стиглості (включаючи ранньостиглі). Стабільне досягнення рослинами фізіологічної зрілості створює належні умови для об'єктивного аналізу вихідного матеріалу.

2. Кліматичні умови 2023 – 2025рр. яскраво демонструють тенденцію до глобального потепління та посилення посух у критичні для органогенезу кукурудзи фази (цвітіння та налив зерна). Такий контрастний і жорсткий гідротермічний режим виявився ідеальним природним фоном для об'єктивного бракування нестійких форм та виділення генотипів із високим рівнем екологічної пластичності. Це підтверджує гостру необхідність переходу до вирощування високоадаптивних гібридів у поєднанні з ресурсоощадними технологіями.

3. Широкий спектр вихідного матеріалу самозапилених ліній кукурудзи забезпечив високу інтенсивність відбору найбільш цінних зразків для комплексного аналізу та гібридизації.

4. Застосовані методи статистичного аналізу дозволяють порівняти селекційні зразки, достовірно оцінити отримані результати та сформулювати обґрунтовані висновки.

РОЗДІЛ 3

КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ТА ДОБІР ВИХІДНОГО МАТЕРІАЛУ КУКУРУДЗИ ЗА ОСНОВНИМИ ГОСПОДАРСЬКО – ЦІННИМИ ОЗНАКАМИ

3.1 Тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів»

При виборі комерційних гібридів кукурудзи для зернового чи силосного використання у конкретних агрокліматичних регіонах базовим критерієм оцінювання є тривалість їхньої вегетації. Водночас цей параметр слугує ключовим маркером екологічної пластичності й адаптаційного потенціалу новоствореного вихідного матеріалу та гібридних комбінацій до лімітуючих чинників довкілля [257].

Загальна тривалість вегетаційного періоду, як і швидкість проходження окремих етапів органогенезу кукурудзи, детермінується синергетичним впливом спадкових особливостей організму, географічного розташування посівів, забезпеченням рослин теплом (сумою ефективних температур) та вологою, а також рівнем стійкості конкретного генотипу до понижених температур [258].

Під час селекційної роботи для швидкого аналізу тривалості вегетаційного періоду культури активно застосовують систему опосередкованих морфолого–фізіологічних параметрів. Зокрема, враховують загальну кількість сформованих листків на основному стеблі та динаміку їхньої появи, часовий інтервал від проростання до початку цвітіння генеративних органів (волотей і качанів), акумульовану суму ефективних температур для головних етапів розвитку, а також динаміку висихання зерна. Доведено, що ці ознаки мають чітку кореляцію з термінами зацвітання та повної стиглості, завдяки чому їх успішно використовують для тестування селекційних ліній на скоростиглість [259].

В умовах посушливого Степу України тривалість заключного періоду вегетації (від цвітіння до повної стиглості зерна) істотно варіює під впливом температурного та водного стресу. У зв'язку з цим рівень скоростиглості селекційного матеріалу доцільно оцінювати за тривалістю міжфазного періоду «сходи – цвітіння 50 % жіночих суцвіть», який є менш залежним від умов середовища та характеризується тісним кореляційним зв'язком із загальною тривалістю вегетаційного періоду [260].

У межах нашої науково–дослідної роботи експертизу ступеня скоростиглості досліджуваного матеріалу проводили за фенологічним маркером «тривалість періоду від сходів до зацвітання 50 % жіночих суцвіть», оскільки ця ознака піддається однозначній та чіткій верифікації в польових умовах. Для забезпечення високої відповідності й коректності порівняльного аналізу як генетичний еталон (стандарт) було залучено ранньостиглу гомозиготну лінію ДК315СВЗМ, яка є батьківським компонентом низки внесених до Реєстру та перспективних гібридів вітчизняної селекції. Об'єктом експериментального оцінювання слугували інбредні родини послідовних поколінь самозапилення S_4 (вивчені у 2023 р.), S_5 (2024 р.) та S_6 (2025 р.).

Тривалість міжфазного періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» у 2023р. залежно від генотипу варіювала в межах 64–77 діб, тоді як середні значення за сім'ями становили 66–72 доби (табл. 1). Слід зазначити, що погодні умови весняного періоду цього року були достатньо вологими з помірними температурами повітря, що дещо затримало початковий розвиток рослин кукурудзи. Натомість для 2024 р. була характерна підвищена температура повітря та дефіцит опадів, особливо у червні та липні, що зумовило зміщення меж варіювання тривалості періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» у бік зменшення на 9–12 діб й призвело до загального пришвидшення етапів органогенезу та фенологічних фаз розвитку. Висока точність проведених польових спостережень та достовірність отриманих середніх значень підтверджується розрахованими показниками граничної

помилки ($tS_{(\bar{x})}$), які у 2023 та 2024 рр. знаходилися на низькому рівні й становили відповідно 0,30 та 0,05 доби.

Таблиця 1

Тривалість періоду сходи – цвітіння 50 % качанів у сімей S₄–S₆
та лінії стандарту, діб

Роки	Показники		Сім'ї S ₄ –S ₆							Стандарт
			ДК2815× ДК247МВ	ДК2815× ДК315	ДК2815× ДК3152	ДК2835× ДК3152	ДК2835× ДК247МВ	ДК3152× ДК247МВ	ДК3152× ДК285/315	ДК315 СВЗМ
2023	$\bar{x}$		68	72	68	71	66	67	67	74
	Lim	min	64	68	66	67	65	65	65	–
		max	74	77	71	75	67	73	69	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,3							
	V, %		4,8							
2024	$\bar{x}$		60	61	62	61	61	61	63	63
	Lim	min	58	58	58	55	58	58	63	–
		max	64	64	65	64	65	64	65	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,05							
	V, %		3,5							
2025	$\bar{x}$		60	58	58	57	57	59	58	61
	Lim	min	54	47	54	55	54	57	54	–
		max	62	62	60	60	60	62	60	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,2							
	V, %		4,6							

Примітка.* $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

У 2025 р. тривалість зазначеного міжфазного періоду варіювала в межах 47–62 діб і виявилася найменшою за всі роки досліджень. Математична оцінка сукупності даних за цей рік також засвідчила їхню високу гомогенність та істотність відхилень між генотипами за показника ($tS_{(\bar{x})}$) = 0,20 доби. Коефіцієнт варіації (V) в усі роки характеризувався низькими значеннями (3,5–4,8 %), проте виявлено тенденцію до його підвищення як у помірно вологому 2023 р., так і в екстремально посушливому 2025 р. В усі роки досліджень лінія–стандарт ДК315СВЗМ

відзначалася більшою тривалістю цього періоду (61–74 доби), наближаючись до максимальних значень у досліді. Таким чином, на основі біометричного аналізу доведено, що більшість нових генотипів характеризувалися коротшим періодом «сходи – цвітіння» порівняно з вихідною лінією–стандартом.

3.2 Морфобіологічна характеристика самозапильних сімей кукурудзи поколінь S₄ – S₆

Морфобіологічні ознаки рослин кукурудзи належать до основних критеріїв, що використовуються для оцінювання вихідного селекційного матеріалу. Їх аналіз дає змогу не лише характеризувати фенотипові особливості генотипів, а й прогнозувати рівень їхньої адаптивності, продуктивності та селекційної цінності. З розвитком методів селекції підходи до оцінювання рослин істотно змінилися: якщо на ранніх етапах головну увагу приділяли окремим елементам продуктивності, насамперед характеристикам качана, то сучасні селекційні програми базуються на комплексному аналізі архітекtonіки рослини, особливостей її росту, розвитку та реакції на умови навколишнього середовища [261].

Сучасні дослідження підтверджують, що морфологічні показники є важливими індикаторами генетичних особливостей та адаптивного потенціалу кукурудзи. Встановлено, що окремі біометричні характеристики тісно пов'язані з тривалістю вегетаційного періоду, інтенсивністю ростових процесів, стійкістю до абіотичних стресів і формуванням урожайності. Зокрема, кількість листків, темпи їх появи, особливості формування стебла й качана, а також параметри генеративних органів можуть бути використані як прямі або непрямі критерії добору перспективних генотипів у селекційному процесі [262].

Формування морфологічних ознак є результатом взаємодії спадкових особливостей генотипу та умов вирощування. Генетичний потенціал

визначає межі прояву кожної ознаки, тоді як погодні умови, забезпеченість рослин вологою, температурний режим, густота стояння та інші агротехнічні фактори впливають на ступінь його реалізації. Саме тому оцінювання морфобіологічних характеристик доцільно проводити в різних за гідротермічними умовами роках, що дає можливість об'єктивніше оцінити стабільність прояву господарсько цінних ознак і адаптивність досліджуваних генотипів [263].

Особливе місце під час добору самозапилених ліній займають такі біометричні показники, як висота рослини та висота прикріплення продуктивного качана. Ці ознаки характеризуються достатньо високою спадковою зумовленістю, легко визначаються в польових умовах і широко використовуються для оцінювання селекційного матеріалу. Водночас ступінь їх прояву значною мірою залежить від умов вологозабезпечення, температурного режиму та забезпеченості рослин елементами живлення, що необхідно враховувати під час інтерпретації результатів польових досліджень [264].

Висота рослин значною мірою визначає архітекtonіку посіву, рівень використання фотосинтетично активної радіації та конкурентоспроможність агроценозу. Не менш важливою характеристикою є висота прикріплення качана, яка безпосередньо впливає на технологічність вирощування та ефективність механізованого збирання врожаю. Встановлено, що ця ознака характеризується вищою мінливістю порівняно із загальною висотою рослини, хоча між ними, як правило, простежується позитивний кореляційний зв'язок. Рациональне поєднання цих показників сприяє підвищенню стійкості рослин до вилягання, зменшенню втрат зерна під час збирання та поліпшенню насінницьких якостей батьківських компонентів гібридів [265].

Для сучасної селекції кукурудзи особливого значення набуває створення ліній із оптимальною архітекtonікою рослини, які поєднують достатню висоту, міцність стебла, рациональне розміщення качана та високу

адаптивність до мінливих умов середовища. Такі генотипи характеризуються кращою технологічністю, ефективніше реалізують потенціал продуктивності та забезпечують стабільніше формування врожаю в умовах нестійкого зволоження, характерних для Степу України [266].

Контрастні погодні умови в роки проведення досліджень створили сприятливі передумови для всебічного оцінювання вихідного матеріалу. Відмінності за температурним режимом і рівнем вологозабезпечення дали змогу виявити особливості реакції досліджуваних ліній на зміну умов вирощування, а також встановити рівень їхньої мінливості за такими важливими селекційними ознаками, як висота рослини та висота прикріплення продуктивного качана. Отримані результати стали основою для подальшого аналізу адаптивності, пластичності та селекційної цінності досліджуваних генотипів.

Результати біометричних вимірювань свідчать, що прояв ознаки «висота рослин» у досліджуваних генотипів суттєво змінювався залежно від гідротермічних умов року (табл. 2). У сприятливому 2023р. середні значення цього показника за сім'ями були найбільшими і становили 172–203 см. (у стандарту – 165 см.), тоді як абсолютні межі варіювання знаходилися в діапазоні 141–224 см. Це відповідає оптимальним параметрам скоростиглих форм кукурудзи.

У 2024р. внаслідок поєднання повітряної та ґрунтової посухи відмічалось зниження лінійного росту. Граничні значення варіювання змістилися до 110–186 см., що на 31–38 см. (або 17–22 %) менше порівняно з абсолютними мінімумами та максимумами 2023р., а середні показники знизилися до 143–161 см. Жорсткі стресові умови 2025р. призвели до найбільшого пригнічення ростових процесів: середні показники висоти впали до 113–134 см., а загальний розмах варіювання звузився до 70–163 см. Висока достовірність отриманих середніх значень у всі роки досліджень підтверджується низькими показниками довірчого інтервалу ($tS_{(\bar{x})}$) який знаходився в межах 3,4–5,8 см. Варто зазначити, що досліджувані сім'ї

виявили неоднакову норму реакції на стресові умови та характеризувалися різним рівнем депресії лінійного росту.

Таблиця 2

Варіювання ознаки “висота рослин” у сімей S_4 – S_6 та лінії–стандарту, см.

Роки	Показники	Сім'ї S_4 – S_6							Стандарт
		ДК2815× ДК247МВ	ДК2815× ДК315	ДК2815× ДК3152	ДК2835× ДК3152	ДК2835× ДК247МВ	ДК3152× ДК247МВ	ДК3152× ДК285/315	ДК315 СВ3М
2023	$\bar{x}$	186	172	183	182	182	185	203	165
	Lim	min	167	149	174	176	163	141	177
		max	203	190	197	188	197	208	224
	$tS_{(\bar{x})}$	5,75							
	V, %	7,6							
2024	$\bar{x}$	153	143	150	153	149	157	161	150
	Lim	min	132	110	131	137	124	125	142
		max	174	175	176	166	173	186	178
	$tS_{(\bar{x})}$	3,36							
	V, %	10,0							
2025	$\bar{x}$	120	113	116	124	116	129	119	134
	Lim	min	97	70	88	97	84	108	107
		max	144	160	154	143	151	163	132
	$tS_{(\bar{x})}$	3,56							
	V, %	14,9							

Примітка.* $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

Показовою є комбінація ДК3152×ДК285/315: у 2023р. вона відзначалася найбільшою висотою (середнє значення – 203 см, максимум – 224 см), проте в екстремальному 2025р. зазнала сильної депресії – її середній показник знизився до 119 см, а максимальна висота становила лише 132 см. (найнижчий максимум серед усіх досліджуваних сімей). Аналіз коефіцієнта варіації (V) підтверджує закономірне зростання мінливості ознаки на фоні стресу: від мінімальної диференціації у сприятливому 2023р. (7,6 %) до

максимальної в посушливому 2025р. (14,9 %). У 2024 р. цей показник мав проміжне значення (10,0 %).

Загалом від параметрів висоти рослин батьківських компонентів залежить архітектоніка посівів, напрям використання майбутніх гібридів (на зерно або силос), стійкість рослин до вилягання та їхня загальна адаптивність до абіотичних стресів. Тому під час створення нових гомозиготних ліній обов'язковим етапом селекційної роботи є моніторинг цієї морфологічної ознаки з урахуванням стабільності її прояву в гібридних комбінаціях.

Оскільки загальний лінійний ріст рослин кукурудзи перебуває у тісному генетично зумовленому зв'язку із процесами закладання генеративних органів, наступним критично важливим етапом оцінювання архітектоніки досліджуваного матеріалу був аналіз висоти розташування качанів. Цей показник має вирішальне значення для визначення технологічності ліній під час механізованого збирання врожаю.

Результати біометричного аналізу свідчать, що ознака «висота прикріплення першого продуктивного качана» у дослідній вибірці характеризувалася значним розмахом мінливості залежно від гідротермічного режиму року вегетації (табл. 3). В екстремально посушливих умовах 2025р. мінімальне значення цього показника знижувалося до 5 см. (сім'я ДК2815×ДК315), тоді як у сприятливому 2023р. максимальний прояв ознаки сягав 109 см. (сім'я ДК3152×ДК285/315).

У 2024 р. відмічено чітку тенденцію до зниження висоти закладання качана порівняно з попереднім роком (у середньому на 12,9 см.), що зумовлено загальним пригніченням лінійного росту рослин кукурудзи під впливом дефіциту вологи. Водночас у більшості досліджених сімей упродовж 2023–2024 рр. середні значення цього показника залишалися в межах, технологічно прийнятних для механізованого збирання (понад 40 см), що є важливим селекційним критерієм.

Натомість жорсткі посушливі умови 2025р. призвели до критичного зниження прояву цієї ознаки – середні значення за сім'ями варіювали в межах

усього 26–42 см. (у лінії–стандарту – 38 см.). Таке низьке розташування генеративних органів створює суттєві технологічні проблеми та ризики значних втрат зерна під час прямого комбайнування батьківських компонентів. Отримані результати доводять, що проблему низького кріплення качанів у лінійного матеріалу кукурудзи на насінницьких посівах у стресові роки доцільно вирішувати шляхом створення та впровадження сестринських гібридів як материнських компонентів.

Таблиця 3

Варіювання ознаки “висота прикріплення качана” у сімей S_4 – S_6
та лінії стандарту, см

Роки	Показники		Сім'ї S_4 – S_6							Стандарт
			ДК2815× ДК247МВ	ДК2815× ДК315	ДК2815× ДК3152	ДК2835× ДК3152	ДК2835× ДК247МВ	ДК3152× ДК247МВ	ДК3152× ДК285/315	ДК315 СВЗМ
2023	$\bar{x}$		79	71	81	71	76	76	89	64
	Lim	min	66	63	69	64	72	63	80	–
		max	101	87	92	77	80	88	109	–
	$tS_{(\bar{x})}$		2,7							
	V, %		12							
2024	$\bar{x}$		60	60	65	68	61	66	72	51
	Lim	min	42	34	43	43	42	39	60	–
		max	75	70	69	94	59	69	76	–
	$tS_{(\bar{x})}$		1,38							
	V, %		19							
2025	$\bar{x}$		33	28	30	28	26	31	42	38
	Lim	min	10	5	17	10	8	10	30	–
		max	58	60	45	54	50	32	60	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,97							
	V, %		30,2							

Примітка.* $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

У динаміці розвитку вихідного матеріалу за 2023–2025рр. простежується чіткий тренд до зниження лінійних параметрів архітекtonіки рослин, який відображає залежно від жорсткості посухи. Згідно з даними таблиці 3, абсолютні межі варіювання ознаки (розмах від мінімального до максимального ліміту серед усіх генотипів) звужувалися від 63–109 см. у 2023р. до 34–94 см. у 2024р. та до 5–60 см. у дефіцитному 2025р. Загалом середня по досліді висота прикріплення качана в екстремальному 2025р. знизилася майже на 60 % порівняно з найбільш сприятливим 2023р., коли вона становила $76,9 \pm 2,3$ см. Математична достовірність та висока точність отриманих даних підтверджується розрахованими показниками довірчого інтервалу ($tS_{(\bar{x})}$), які залежно від року коливалися в межах 1,0–2,7 см.

Аналіз коефіцієнта варіації (V) вказує на його стрімке зростання в міру погіршення екологічних умов: від низького рівня у сприятливому 2023р. (12,0 %) до помірного у 2024р. (19,0 %) та високого в у посушливому 2025р. (30,2 %). Таке суттєве підвищення рівня варіабельності на жорсткому лімітуючому фоні свідчить про посилення фенотипової мінливості та глибоку диференціацію вихідного матеріалу за екологічною пластичністю. Водночас це вказує на наявність стійких генотипів, здатних підтримувати стабільні ростові процеси навіть за значного гідротермічного стресу, що створює широкі можливості для ефективного селекційного добору.

Таким чином, отримані результати обґрунтовують необхідність подальшого аналізу норми реакції та генетичної структури створених сімей з метою оптимізації та підвищення результативності відбору за ознакою «висота прикріплення качана».

За результатами комплексного оцінювання біометричних показників та архітекtonіки рослин досліджуваних сімей кукурудзи поколінь S_4 – S_6 у контрастних гідротермічних умовах 2023–2025 рр. встановлено такі закономірності :

По–перше, формування лінійних параметрів рослин істотно залежало від умов вирощування. Найбільші значення висоти рослин і висоти

прикріплення качана відмічено у відносно сприятливому 2023 році, тоді як екстремальна повітряно–грунтова посуха 2025 року спричинила значне пригнічення ростових процесів, що проявилось у суттєвому зменшенні висоти рослин та висоти закладання першого качана.

По–друге, встановлено неоднакову екологічну стабільність досліджуваних біометричних ознак. Ознака висоти прикріплення качана виявилася значно чутливішою до впливу абіотичних факторів порівняно із загальною висотою рослин, що підтверджується істотним збільшенням коефіцієнта варіації в умовах посилення посушливості.

По–третє, розширення амплітуди фенотипової мінливості на жорсткому екологічному фоні свідчить про значну генетично зумовлену диференціацію досліджуваних сімей за рівнем адаптивної реакції. Виділено генотипи, які характеризувалися високою пластичністю, а також форми, здатні зберігати відносно стабільні параметри архітекtonіки рослин у несприятливих умовах. Такі генотипи становлять практичний інтерес як вихідний матеріал для селекції на адаптивність і технологічність.

По–четверте, встановлене в окремих сімей істотне зниження висоти прикріплення першого качана в екстремально посушливих умовах свідчить про можливе зростання ризику втрат урожаю під час механізованого збирання. Водночас генотипи зі стабільною висотою розташування качана можуть бути використані як перспективні материнські компоненти при створенні сестринських гібридів та організації насінницьких посівів.

Отримані результати підтверджують доцільність використання комплексної оцінки біометричних показників і архітекtonіки рослин як важливого критерію добору вихідного матеріалу. Встановлені закономірності формують наукове підґрунтя для подальшого аналізу адаптивності, комбінаційної здатності та селекційної цінності досліджуваних сімей кукурудзи.

3.3 Складові структури качана

Сучасні сорти та гібриди кукурудзи реалізують свій біологічний потенціал лише на 40–50 %, що свідчить про наявність значного резерву для підвищення їхньої врожайності. У степовій зоні України ключовим і водночас лімітуючим фактором формування продуктивності гібридів кукурудзи є рівень вологозабезпечення. За його дефіциту на тлі високих температур повітря виникають жорсткі посухи та суховії, які вкрай негативно впливають на проходження критичних фаз росту й розвитку рослин, що зрештою призводить до різкого зниження їхньої продуктивності. Типовою реакцією рослин на гідротермічний стрес є передчасне всихання вегетативної маси, сонячні опіки та некрози листкового апарату [267].

Ефективне використання вихідного селекційного матеріалу потребує його всебічної та точної оцінки. Найбільш інформативними критеріями під час добору ліній є елементи структури качана, зокрема кількість зерен та маса 1000 зерен. Відомо, що батьківські форми кукурудзи, будучи результатом багаторазового примусового самозапилення (інбридингу), характеризуються високим рівнем гомозиготності, що робить їх значно вибагливішими до умов вирощування. Вони виявляють підвищену чутливість до несприятливих абіотичних факторів та відзначаються загальним зниженням біометричних показників. Водночас урожайність і екологічна стабільність батьківських компонентів є визначальними чинниками, оскільки вони безпосередньо впливають на технологічність та рентабельність насінництва гібридів у господарствах [268].

Кількісні параметри качана належать до ключових господарсько цінних ознак, які формують основу структури врожаю. Аналіз цих показників поряд із загальною продуктивністю є глибоко обґрунтованим з генетико–селекційної точки зору. Деякі елементи потенційної продуктивності, зокрема кількість рядів зерен у качані, виявляють значно вищу спадкову стабільність порівняно з урожайністю, оскільки їхня детермінація відбувається на ранніх етапах морфогенезу суцвіття. Завдяки цьому вплив несприятливих факторів

довкілля в період цвітіння та наливу зерна мінімально позначається на прояві цієї ознаки [269].

Ураховуючи глобальні зміни клімату, магістральним напрямом сучасних селекційних програм є створення нових гібридів із високим рівнем гетерозису та стійкістю до абіотичних стресів. Оскільки найбільш критичним етапом онтогенезу кукурудзи щодо вологозабезпечення є період від цвітіння до початку формування зернівки, створення посухостійкого лінійного матеріалу стає базовою передумовою для успішного конструювання адаптивних гібридів [270]. Аналіз даних підтвердив істотну залежність елементів структури качана та продуктивності досліджуваних ліній від гідротермічних умов (табл. 4).

Таблиця 4.

Варіювання складових структури врожаю самозапилених сімей $S_4 - S_5$ кукурудзи, 2023–2025 рр.

Ознаки	Параметри	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Довжина качана, см	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	15,8±0,24	13,8±0,23	11,4±0,32
	min – max	9,3–20,8	9,2–18,5	6,3–15,7
	V, %	10,9	11,8	14,7
Діаметр качана, см	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	3,83±0,05	3,57±0,05	3,51±0,07
	min – max	2,85–5,86	2,25–5,23	2,2–4,7
	V, %	9,5	10,1	10,4
Кількість рядів зерен, шт.	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	13,8±0,33	13,1±0,32	10,9±0,45
	min – max	6,0–19,0	4,0–20,0	5,0–15,0
	V, %	17,1	17,5	21,3
Маса 1000 зерен, г	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	171,5±10,91	170,8±10,69	265,7±8,07
	min – max	81,1–440,3	71,3–392,0	107,8–352,5
	V, %	45,6	44,8	15,5
Продуктивність, г/рос.	$\bar{X} \pm S\bar{x}$	75,5±3,53	41,8±3,20	42,9±3,12
	min – max	14,4–143,7	10,0–93,5	15,7–88,7
	V, %	33,5	54,1	36,9

Примітка.* $\bar{X}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

Простежувалася чітка тенденція до погіршення біометричних характеристик генеративних органів у міру посилення дії абіотичних стресів. Зокрема, у посушливому 2024 р. порівняно зі сприятливим 2023 р. середня довжина качана зменшилася на 12,7 %, діаметр – на 6,8 %, кількість рядів зерен – на 5,1 %, тоді як індивідуальна продуктивність рослин знизилася на 44,6 %. Екстремально посушливі умови 2025 р. спричинили подальше істотне погіршення більшості досліджуваних показників, що свідчить про значну модифікаційну мінливість структури качана під впливом факторів середовища.

Ранжування загальної вибірки за розмірними характеристиками качана проводили відповідно до «Класифікатора–довідника виду *Zea mays* L.» [271]. Варіаційний ряд показника «довжина качана» у 2023р. характеризувався таким розподілом: короткий качан формували 1,0 % зразків, середній – 26,2 %, довгий – 64,6 %, дуже довгий – 8,2 %. У стресових умовах 2024р. зменшення середньої довжини качана до 13,8 см. зумовило зміщення модального класу до категорії «середній», до якої належало 73,0 % досліджуваних генотипів. У 2025р. середня довжина качана скоротилася до 11,4 см., а мінімальне значення становило 6,3 см., що свідчить про масовий перехід генотипів до класів «короткий» та «дуже короткий». Водночас окремі генотипи незалежно від гідротермічних умов зберігали здатність формувати дуже довгі качани, зокрема (ДК2835×ДК3152)–33312 та (ДК2835×ДК247МВ)–3323, що свідчить про їхню високу селекційну цінність.

Показник «діаметр качана» є важливою складовою структури врожаю, оскільки опосередковано пов'язаний із кількістю рядів зерен та впливає на інтенсивність вологовіддачі зерна в період достигання. Серед усіх досліджуваних характеристик саме ця ознака виявилася найбільш стабільною. Навіть у посушливому 2024р. її середнє значення зменшилося лише на 0,26 см., а у 2025р. становило 3,51 см. Разом із тим аналіз варіаційного ряду засвідчив збільшення частки зразків із тонким качаном (2,0–3,0 см.) та одночасне скорочення кількості генотипів із товстим качаном

(4,1–5,0 см.), що відображає реакцію досліджуваного матеріалу на дефіцит вологи.

Показник «кількість рядів зерен» належить до найбільш генетично детермінованих компонентів структури врожаю кукурудзи та характеризується високою спадковістю, що зумовлює його важливе значення в селекції на продуктивність [272]. Водночас отримані результати свідчать, що за екстремальних температур і дефіциту вологи під час формування генеративних органів реалізація генетичного потенціалу цієї характеристики може істотно обмежуватися. Так, у сприятливому 2023р. 67 % зразків формували середню кількість 14 рядів зерен, тоді як у 2024р. вже 62 % вибірки характеризувалися їх зменшенням до 13 рядів. Найнижчі значення відзначено у 2025р., коли середній показник по досліді становив лише 11 рядів. Незважаючи на це, ідентифіковано три сім'ї, які стабільно формували понад 18 рядів зерен: (ДК2815×ДК247МВ)–22321, (ДК3152×ДК247МВ)–21112 та (ДК3152×ДК247МВ)–21121, що свідчить про їхню відносно високу стабільність за контрастних умов вирощування.

Особливий інтерес для адаптивної селекції становить показник «маса 1000 зерен» [273]. У межах досліджуваної вибірки встановлено широкий діапазон його фенотипової мінливості. Якщо у 2023–2024рр. середні значення залишалися практично однаковими (171,5 та 170,8 г відповідно) за високого коефіцієнта варіації (близько 45 %), то у 2025р. середня маса 1000 зерен зросла до 265,7 г, тоді як рівень варіабельності знизився до 15,5 %.

Ймовірно, збільшення маси 1000 зерен у 2025р. пов'язане з компенсаторною реакцією рослин на суттєве зменшення кількості сформованих зерен на качані. За таких умов більша частка асимілятів спрямовувалася на налив окремих зернівок, що забезпечило формування відносно крупного насіння навіть за істотного зниження загальної продуктивності рослин.

Отримані результати узгоджуються з особливостями походження вихідних батьківських форм. Так, генетичним джерелом дрібнішого насіння

у досліджуваному матеріалі є середньорання кремениста лінія ДК247зМ СВ (північний екотип), тоді як формування крупнішого зерна пов'язане з використанням середньостиглої зубовидної лінії ДК257зМ СВ (південний екотип). Їх поєднання під час створення лінії ДК315СВ3М забезпечило формування вихідного матеріалу, перспективного для селекції генотипів, адаптованих до температурних контрастів та здатних ефективно накопичувати суху речовину.

Продуктивність рослини є інтегральним показником, який відображає сумарний прояв усіх компонентів структури врожаю. У сформованій вибірці всі досліджувані зразки характеризувалися однокачанністю, хоча у 23 % ліній спостерігалось закладання другого суцвіття, яке в подальшому не розвивалося. У сприятливому 2023р. середня продуктивність становила 75,5 г/рослину. Під впливом жорстких посух у 2024 та 2025 рр. цей показник знизився відповідно до 41,8 та 42,9 г/рослину. Отже, навіть істотне збільшення маси окремої зернівки у 2025р. не компенсувало загального зменшення продуктивності, що було зумовлено різким скороченням кількості сформованих зерен на качані.

Важливим етапом селекційної роботи є оцінювання реалізації потенціалу продуктивності створених генотипів у контрастних умовах вирощування. Порівняльну характеристику продуктивності сімей поколінь S₄–S₅ та лінії стандарт за 2023–2025 рр. наведено в таблиці 5.

Порівняльний аналіз середньої продуктивності рослин самозапилених сімей, отриманих від різних гібридних комбінацій, засвідчив суттєву генотипову зумовленість їхньої реакції на контрастні умови вирощування. Найбільшу чутливість до посушливих умов 2024р. виявили сім'ї, походженням від гібрида ДК2835×ДК247МВ, у яких середня продуктивність знизилася на 74,4 % порівняно зі сприятливим 2023р. Найменше зниження цього показника (11,5 %) встановлено у сімей, одержаних від гібрида ДК2815×ДК247МВ, що свідчить про їхню вищу адаптивність до несприятливих умов середовища. Для решти досліджуваних комбінацій

зменшення продуктивності перебувало в межах 30,2–71,8 %. Для лінії–стандарту ДК315СВЗМ цей показник становив 33,4 %, що характеризує середній рівень стійкості до дії посухи.

Таблиця 5.

Продуктивність рослин сімей $S_4 - S_5$ та лінії–стандарту, г/рос.

Рік	Параметри	Сім'ї S_4-S_6							Стандарт
		ДК2815× ДК247МВ	ДК2815× ДК315	ДК2815× ДК3152	ДК2835× ДК3152	ДК2835× ДК247МВ	ДК3152× ДК247МВ	ДК3152× ДК285/315	ДК315СВЗМ
2023	$\bar{x}$	47,4	72,3	60,0	80,4	110,5	93,9	98,4	82,4
	min	14,4	58,7	43,2	68,3	81,4	34,5	51,1	–
	max	90,4	85,9	72,0	95,3	143,7	118,2	128,9	–
	$tS_{(\bar{x})}$	6,3							
2024	$\bar{x}$	42,4	27,0	25,8	22,7	39,8	65,5	58,3	75,0
	min	12,3	14,1	10,0	12,4	15,4	12,4	22,1	–
	max	80,0	39,4	38,4	37,0	77,2	84,2	93,5	–
	$tS_{(\bar{x})}$	5,0							
2025	$\bar{x}$	44,8	48,8	42,4	71,7	52,3	42,6	54,1	81,4
	min	21,4	23,1	15,7	60,3	27,1	22,4	32,5	–
	max	72,4	97,2	68,5	76,8	77,7	68,1	88,7	–
	$tS_{(\bar{x})}$	3,8							

Примітка.* $\bar{x}$ – середнє значення; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

Порівняння середньої продуктивності самозапилених сімей зі стандартом показало, що у сприятливому 2023р. лінія ДК315СВЗМ перевищувала середні значення сімей, отриманих від комбінацій ДК2835×ДК247МВ, ДК3152×ДК247МВ та ДК3152×ДК285/315, відповідно на 34,1; 14,0 та 19,4 %. Водночас у посушливому 2024р. середня продуктивність сімей усіх досліджуваних комбінацій була нижчою за стандарт. Незважаючи на це, серед потомства комбінацій ДК3152×ДК285/315 та ДК3152×ДК247МВ виділено відповідно 36,4 і 31,3 % сімей, продуктивність яких перевищувала рівень стандартної лінії.

Слід також відзначити, що у сприятливому 2023 р. серед сімей, отриманих із шести вихідних гібридних комбінацій, були ідентифіковані генотипи, максимальна продуктивність яких перевищувала стандарт на 4,2–74,4 %. У більш жорстких умовах 2024 р. такі високопродуктивні генотипи виявлено лише серед потомства чотирьох вихідних гібридів, причому їхня перевага над стандартом становила 41,7–71,6 %. Це свідчить, що навіть за несприятливих умов окремі генотипи здатні зберігати високий рівень продуктивності, що робить їх перспективними для подальшого використання в селекції на адаптивність і продуктивність.

Узагальнюючи результати досліджень, слід відзначити закономірне зростання коефіцієнтів варіації у стресові роки для більшості досліджуваних показників: від 10,9 до 14,7 % для довжини качана та від 17,1 до 21,3 % для кількості рядів зерен. Це свідчить про посилення фенотипової диференціації генотипів за несприятливих умов вирощування та створює додаткові можливості для ефективного селекційного добору.

Таким чином, досліджені компоненти структури качана характеризувалися неоднаковою екологічною пластичністю. Найбільш стабільним показником виявився діаметр качана, тоді як довжина качана, кількість рядів зерен та індивідуальна продуктивність істотно залежали від гідротермічних умов року. Виявлені закономірності мають важливе практичне значення для добору вихідного матеріалу при створенні адаптивних ранньостиглих ліній кукурудзи, придатних до вирощування в умовах Степу України.

3.4 Кореляційний аналіз основних господарсько – цінних ознак кукурудзи

Ефективність селекційного процесу значною мірою залежить від можливості визначення селекційної цінності вихідного матеріалу на різних етапах інбридингу. Продуктивність інбредних сімей є інтегральною

кількісною ознакою, яка формується внаслідок взаємодії комплексу морфобіологічних та господарсько цінних характеристик.

Для встановлення закономірностей формування продуктивності та виявлення ознак, що можуть бути використані як непрямі критерії добору, нами було проведено кореляційний аналіз морфобіологічних і господарсько цінних ознак 302 скоростиглих інбредних сімей кукурудзи поколінь S_4-S_6 , оцінених упродовж 2023–2025рр. Результати засвідчили наявність закономірної системи взаємозв'язків між компонентами продуктивності, що характеризує особливості реалізації генетичного потенціалу досліджуваного селекційного матеріалу (таблиця 6).

Таблиця 6.

Зведена кореляційна матриця морфобіологічних ознак та продуктивності за Пірсоном (2023–2025 рр., $n = 302$)

Показники	Тривалість вегетаційно го періоду, доба	Висота рослин см.	Висота прикріпле ння початка, см.	Довжина качана, см.	Діаметр качана, см.	Кількість рядів зерен, шт.	Кількість зерен у ряду, шт	Маса 1000 зерен, г.	Проду ктивні сть, т/га.
Тривалість вегетаційного періоду, доба	1,000	0,417	0,575	0,489	0,168	0,161	0,202	0,441	0,314
Висота рослин, см.	0,417	1,000	0,891	0,499	0,414	0,342	0,503	0,630	0,523
Висота прикріплення початка, см.	0,575	0,891	1,000	0,604	0,467	0,363	0,530	0,669	0,534
Довжина качана, см	0,489	0,499	0,604	1,000	0,617	0,453	0,636	0,692	0,604
Діаметр качана, см.	0,168	0,414	0,467	0,617	1,000	0,706	0,490	0,411	0,291
Кількість рядів зерен, шт.	0,161	0,342	0,363	0,453	0,706	1,000	0,485	0,282	0,401
Кількість зерен у ряду, шт.	0,202	0,503	0,530	0,636	0,490	0,485	1,000	0,628	0,557
Маса 1000 зерен, г.	0,441	0,630	0,669	0,692	0,411	0,282	0,628	1,000	0,726
Продуктивніс ть, т/га.	0,314	0,523	0,534	0,604	0,291	0,401	0,557	0,726	1,000

Встановлено, що продуктивність рослини формується внаслідок комплексної взаємодії елементів структури врожаю та морфобіологічних ознак, однак ступінь їхнього впливу істотно відрізняється. Найтісніший позитивний кореляційний зв'язок продуктивності встановлено з масою 1000 зерен ($r = 0,726$), що свідчить про визначальне значення крупності зерна у формуванні продуктивності скоростиглих інбредних сімей. Високе значення цього показника дозволяє розглядати масу 1000 зерен як один із найбільш інформативних критеріїв непрямого селекційного добору на ранніх етапах інбридингу.

Другим за силою впливу компонентом продуктивності була довжина качана ($r = 0,604$), яка характеризувалася стабільним позитивним зв'язком із продуктивністю рослин. Аналогічну тенденцію встановлено і для кількості зерен у ряду ($r = 0,557$). Отримані результати свідчать, що саме ці структурні елементи качана визначають основний внесок у реалізацію продуктивного потенціалу досліджуваних генотипів.

Морфологічні ознаки рослин також виявили позитивний зв'язок із продуктивністю, хоча його сила була дещо нижчою. Так, коефіцієнти кореляції між продуктивністю та висотою прикріплення качана ($r = 0,534$), а також загальною висотою рослин ($r = 0,523$) відповідали середньому рівню. Це свідчить, що більш розвинений габітус рослин сприяє формуванню вищої продуктивності, однак зазначені ознаки доцільно використовувати лише як допоміжні критерії добору через їхню значну залежність від гідротермічних умов вирощування.

Порівняно слабший вплив на продуктивність мали кількість рядів зерен ($r = 0,401$), тривалість міжфазного періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» ($r = 0,314$) та діаметр качана ($r = 0,291$). Незважаючи на позитивний характер кореляцій, їхня величина вказує на те, що ці ознаки не можуть розглядатися як самостійні критерії селекційного добору, проте вони є важливими компонентами загальної архітекτονіки продуктивності. Аналіз взаємозв'язків між окремими морфобіологічними ознаками дозволив виявити ряд

закономірностей, що характеризують особливості формування фенотипу досліджуваних інбредних сімей. Для наочної візуалізації структурної організації комплексу ознак нами було побудовано теплову карту кореляцій (Рисунок 3).

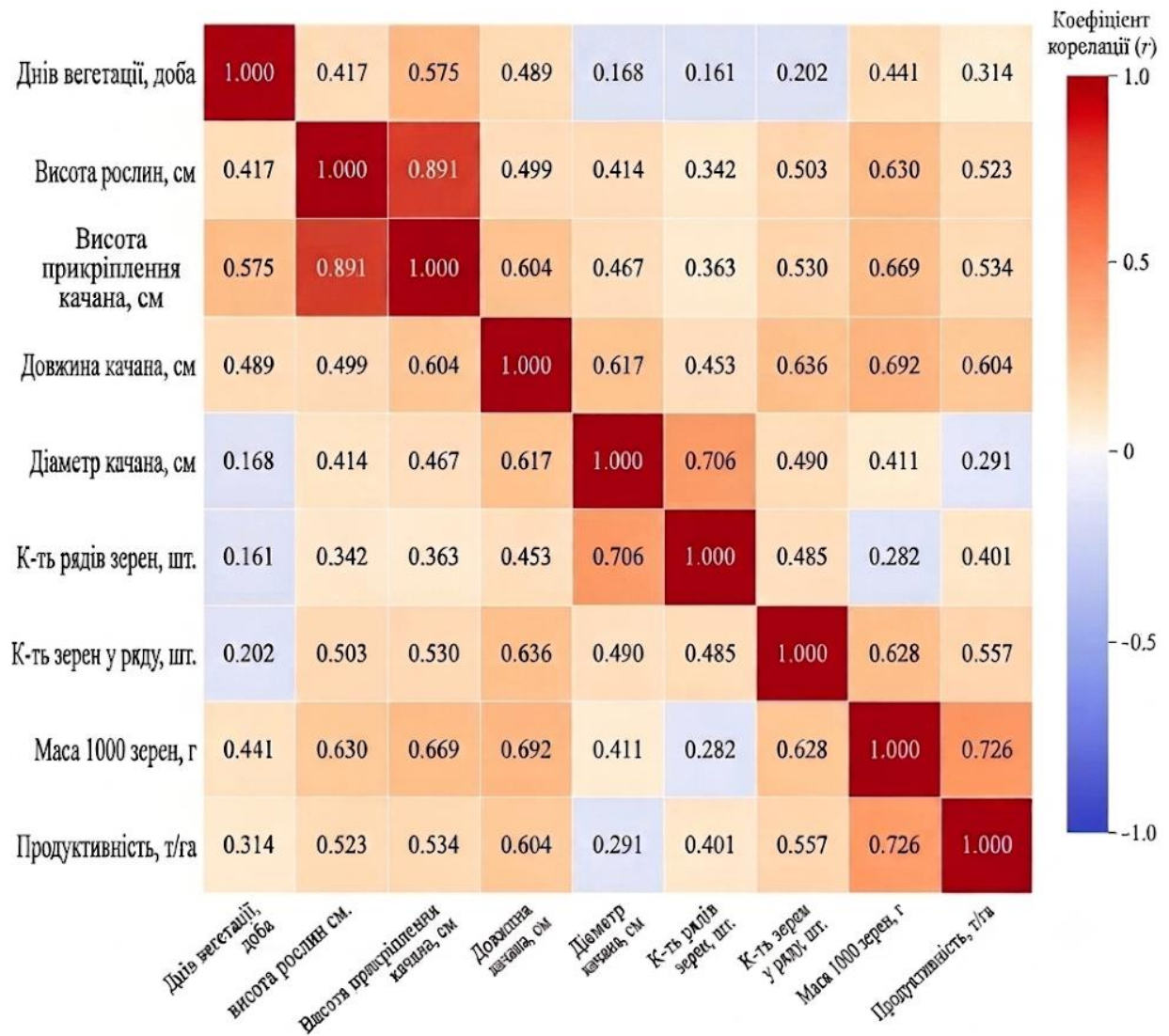


Рис. 3. Теплова карта (heatmap) кореляцій між ознаками інбредних ліній кукурудзи (2023–2025рр.) $n=302$.

**Примітка: Метод: кореляція Пірсона Позитивні значення (червоний колір) – прямий зв'язок; негативні (синій колір) – обернений зв'язок.*

Візуалізація кореляційної матриці засвідчила переважання позитивних взаємозв'язків між більшістю досліджуваних показників, що свідчить про узгоджений тип формування елементів продуктивності та відсутність характерних антагоністичних (негативних) зв'язків. У досліджуваній вибірці

чітко виділяються дві функціональні групи ознак: Морфометричні ознаки вегетативних органів: Між ними встановлено високий рівень кореляційної залежності. Зокрема, висота рослин характеризувалася дуже тісним позитивним зв'язком із висотою прикріплення першого продуктивного качана ($r = 0,891$), а також із масою 1000 зерен ($r = 0,630$) і довжиною качана ($r = 0,499$).

Елементи структури врожаю: Вони характеризувалися високим ступенем інтегрованості. Найтісніші взаємозв'язки встановлено між довжиною качана та масою 1000 зерен ($r = 0,692$), довжиною качана і кількістю зерен у ряду ($r = 0,636$), а також між діаметром качана і кількістю рядів зерен ($r = 0,706$). Така структура кореляцій підтверджує, що формування продуктивності є результатом узгодженого розвитку геометричних параметрів качана та його озерненості. На відміну від інших ознак, тривалість вегетаційного періоду характеризувалася переважно слабкими або помірними позитивними кореляціями ($r = 0,161-0,575$). Це пояснюється обмеженим діапазоном мінливості цієї ознаки в досліджуваний вибірці скоростиглого матеріалу. Однак такий характер зв'язків підтверджує принципову можливість ефективного поєднання скоростиглості з високою продуктивністю без істотного погіршення інших господарсько цінних ознак, що є критично важливим для селекції кукурудзи в умовах північного Степу України.

Отже, отримана кореляційна структура свідчить, що продуктивність скоростиглих інбредних сімей визначається насамперед ознаками, які характеризують виповненість зерна та озерненість качана, тоді як морфометричні характеристики габітусу виконують переважно опосередковану функцію. Найбільш перспективними критеріями непрямого добору високопродуктивних генотипів слід вважати масу 1000 зерен, довжину качана та кількість зерен у ряду.

3.5 Оцінка незалежного внеску ознак у продуктивність (Регресійний аналіз)

Оскільки парний кореляційний аналіз відображає лише сумарну силу взаємозв'язків між окремими ознаками, наступним етапом дослідження було визначення їхнього незалежного внеску у формування продуктивності рослин. Для оцінювання незалежного впливу морфобіологічних та господарсько цінних ознак на формування продуктивності скоростиглих інбредних сімей кукурудзи нами було застосовано множинний регресійний аналіз. На відміну від простої кореляції, цей підхід дозволяє визначити величину внеску кожної ознаки в результуючий показник за умови одночасного елімінування впливу (врахування) інших предикторів, що є критично важливим для обґрунтування критеріїв ефективного селекційного добору.

Множинний регресійний аналіз проводили за моделлю:

$$GY = \beta_0 + \beta_1 DV + \beta_2 PH + \beta_3 EH + \beta_4 EL + \beta_5 ED + \beta_6 KNR + \beta_7 KNRW + \beta_8 TKW + \epsilon$$

Де :

GY – продуктивність рослини, т/га;

DV – тривалість вегетаційного періоду, діб;

PH – висота рослин, см;

EH – висота прикріплення качана, см;

EL – довжина качана, см;

ED – діаметр качана, см;

KNR – кількість рядів зерен, шт.;

KNRW – кількість зерен у ряду, шт.;

TKW – маса 1000 зерен, г.

Результати множинного регресійного аналізу (таблиці 7.) свідчать, що після елімінування взаємного впливу між досліджуваними ознаками

статистично значущий незалежний внесок у формування продуктивності зберігся лише для довжини качана ($p=0,03$) та діаметра качана ($p<0,001$). Це засвідчує, що саме геометричні параметри качана є базовими компонентами, які безпосередньо визначають потенціал продуктивності досліджуваного селекційного матеріалу у даній вибірці.

Таблиця 7.

Параметри множинної регресії продуктивності скоростиглих інбредних ліній кукурудзи

Показники	Стандартизований β	SE	t	p	VIF
Тривалість вегетаційного періоду, доба	0,31	0,27	0,27	0,78	1,80
Висота рослин, см.	0,52	1,71	0,01	0,99	5,06
Висота прикріплення качана, см.	0,53	1,07	0,03	0,98	4,89
Довжина качана, см	0,60	0,13	2,19	0,03	2,82
Діаметр качана, см	0,29	0,02	43,30	0,00	1,77
Кількість рядів зерен, шт.	0,40	0,14	1,43	0,22	1,99
Кількість зерен у ряду, шт.	0,56	0,31	0,38	0,70	2,75
Маса 1000 зерен, г.	0,72	6,63	0,00	0,99	5,02

**Примітка. β – стандартизований коефіцієнт регресії (Standardized Beta); SE – стандартна похибка коефіцієнта; t – t-статистика Стьюдента; p – рівень статистичної значущості; VIF (Variance Inflation Factor) – фактор інфляції дисперсії.*

Аналіз стандартизованих коефіцієнтів регресії показав, що найбільший незалежний позитивний вплив на продуктивність мала довжина качана ($\beta=0,60$), тоді як діаметр качана характеризувався дещо меншим значенням стандартизованого коефіцієнта ($\beta=0,29$), але найвищим рівнем статистичної значущості.

На перший погляд, отримані результати відрізняються від даних парного кореляційного аналізу, згідно з якими найбільш тісний зв'язок із

продуктивністю мала маса 1000 зерен ($r=0,726$). Утім, така відмінність є закономірною математичною моделлю.

Кореляційний аналіз характеризує сумарний взаємозв'язок між двома ознаками, тоді як множинна регресія визначає лише незалежний внесок кожної змінної після врахування взаємозалежності між усіма предикторами. Високі кореляції маси 1000 зерен із довжиною качана ($r=0,692$), висотою прикріплення качана ($r=0,669$), висотою рослин ($r=0,630$) та кількістю зерен у ряду ($r=0,628$) зумовили перерозподіл пояснювальної здатності між предикторами моделі.

Оцінювання мультиколінеарності повністю підтвердило зазначену закономірність. Для більшості ознак значення VIF (фактор інфляції дисперсії) не перевищували критичного рівня ($VIF < 5$), що свідчить про задовільну якість та адекватність побудованої моделі. Лише для висоти рослин ($VIF=5,06$) та маси 1000 зерен ($VIF=5,02$) відзначено граничні значення, які логічно пояснюються їхніми високими кореляційними зв'язками з іншими компонентами продуктивності. Отже, відсутність статистично значущого незалежного впливу цих ознак не свідчить про їхню низьку селекційну цінність, а лише відображає значне перекриття інформації, яку вони несуть спільно з іншими предикторами.

Таким чином, результати множинного регресійного аналізу доводять, що найбільш інформативними незалежними селекційними критеріями продуктивності скоростиглих інбредних сімей є довжина та діаметр качана. Водночас маса 1000 зерен, кількість зерен у ряду та висота рослин залишаються критично важливими непрямыми показниками продуктивності. Проте їхнє використання доцільно здійснювати в комплексі з іншими ознаками через високий рівень взаємної кореляційної залежності. Отримані результати можуть слугувати основою для формування багатфакторних селекційних індексів та оптимізації добору вихідного матеріалу під час створення нових скоростиглих інбредних ліній і гібридів кукурудзи.

3.6 Багатовимірний аналіз фенотипової дивергентності сімей кукурудзи (РСА та кластерний аналіз)

Для комплексного оцінювання структури фенотипової мінливості скоростиглих інбредних сімей та визначення основних факторів, що формують їхню селекційну диференціацію, нами було застосовано аналіз головних компонент (Principal Component Analysis, PCA). На відміну від парного кореляційного аналізу, RSA дозволяє інтегрувати інформацію про взаємодію всіх досліджуваних ознак та встановити провідні напрями фенотипової дивергентності селекційного матеріалу.

Побудований RSA–biplot (рисунк 4) дав можливість одночасно оцінити взаємне розташування інбредних сімей та характер взаємозв'язків між морфобіологічними і господарсько цінними ознаками. Довжина векторів на графіку характеризує величину внеску окремих показників у загальну фенотипову мінливість, тоді як величина кута між ними відображає силу та напрямок кореляційних зв'язків.

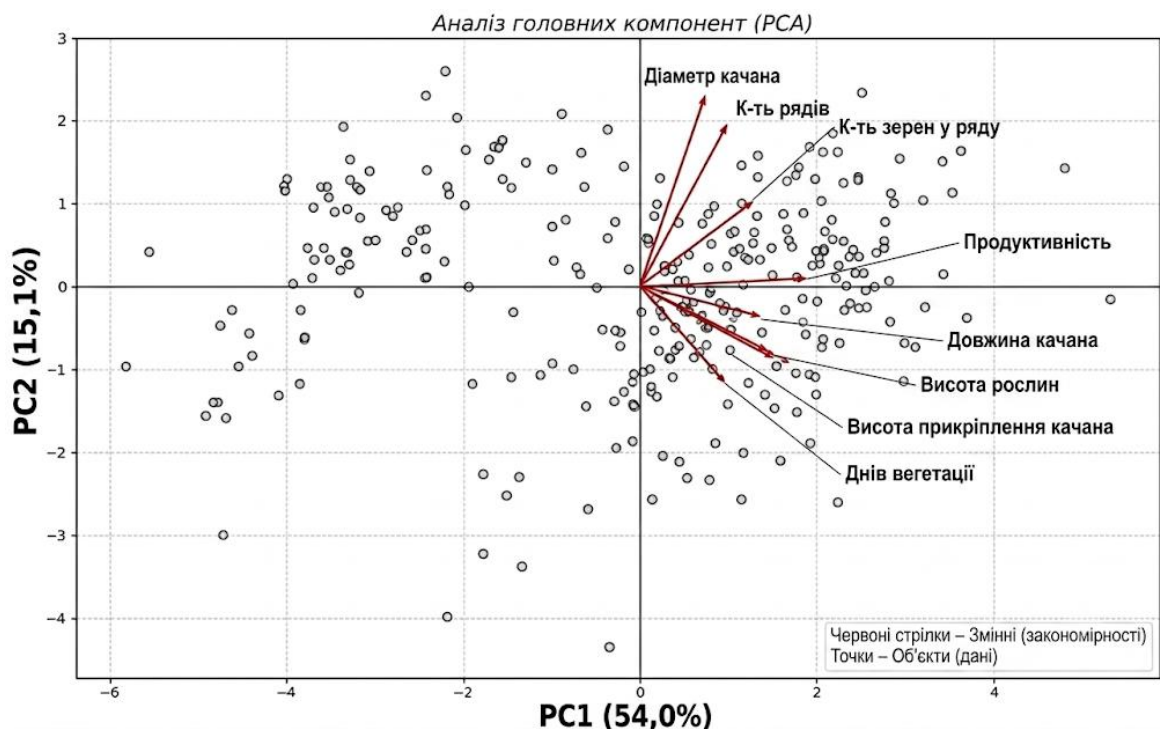


Рис. 4. RSA–biplot агрономічних показників скоростиглих інбредних ліній кукурудзи (2023–2025 рр.).

Візуальний аналіз біплота повністю підтвердив результати кореляційного аналізу. Найбільш компактний кластер векторів сформували продуктивність рослини, маса 1000 зерен, довжина качана та кількість зерен у ряду, що свідчить про їхній спільний внесок у формування продуктивності та високу узгодженість прояву. Саме ця група ознак характеризує основний напрям селекційного добору в досліджуваному матеріалі. На противагу цьому, діаметр качана та кількість рядів зерен займали окреме положення у просторі ознак, що свідчить про існування відносно незалежного напрямку фенотипової мінливості, пов'язаного зі зміною архітекtonіки качана. Такий характер розміщення ознак підтверджує, що продуктивність скоростиглих інбредних сімей формується щонайменше двома відносно самостійними комплексами господарсько цінних характеристик. Широкий просторовий розподіл генотипів на PCA-biplot свідчить про значну фенотипову різноманітність досліджуваного матеріалу, сформованого в процесі індивідуального добору з генетично віддаленого вихідного матеріалу. Це є важливою передумовою ефективного виділення генотипів із комплексом цінних селекційних ознак та їхнього подальшого використання як батьківських компонентів нових гібридів.

Результати розрахунку власних значень (табл. 8) показали, що найбільшу частку загальної фенотипової мінливості пояснювала перша головна компонента (PC1), на яку припадало 54,0 % дисперсії. Друга компонента (PC2) акумулювала ще 15,1 %.

Дві перші компоненти сумарно пояснювали 69,1 % варіабельності досліджуваних ознак. Такий високий рівень поясненої дисперсії свідчить про інтегрованість морфобіологічних ознак та підтверджує, що двовимірна PCA-модель адекватно і повно відображає структуру мінливості інбредних сімей. Власні значення наступних компонент були меншими за одиницю, а їхній внесок не перевищував 9 %, що відповідає критерію Кайзера і математично обґрунтовує доцільність використання лише перших двох головних компонент для інтерпретації результатів.

Таблиця 8.

Власні значення (Eigenvalues) та внесок головних компонент у загальну мінливість ознак

Компонента	Власні значення	Частка загальної дисперсії, %	Кумулятивна дисперсія, %
PC1	4,872	54,0	54,0
PC2	1,364	15,1	69,12
PC3	0,796	8,84	77,96
PC4	0,654	7,247	85,120
PC5	0,506	5,605	90,725
PC6	0,361	3,997	94,722
PC7	0,220	2,436	97,158
PC8	0,139	1,541	98,699
PC9	0,117	1,301	100,000

Аналіз факторних навантажень (табл. 9) дозволив встановити біологічний зміст головних компонент. Перша головна компонента (PC1) характеризувалася високими позитивними навантаженнями практично всіх досліджуваних ознак. Найбільший внесок у її формування забезпечували маса 1000 зерен (0,392), висота прикріплення качана (0,387), висота рослин (0,384), довжина качана (0,360), продуктивність рослини (0,349) та кількість зерен у ряду (0,345).

Таблиця 9

Навантаження ознак (PCA Loadings) на перші дві головні компоненти

Показники	PC1	PC2
Тривалість вегетаційного періоду, доба	0,256	-0,310
Висота рослин, см.	0,384	-0,207
Висота прикріплення качана, см.	0,387	-0,227
Довжина качана, см	0,360	-0,095
Діаметр качана, см	0,203	0,630
Кількість рядів зерен, шт.	0,268	0,529
Кількість зерен у ряду, шт.	0,345	0,274
Маса 1000 зерен, г.	0,392	-0,222
Продуктивність рослини, т/га.	0,349	0,011

Отже, PC1 можна інтерпретувати як інтегральну компоненту продуктивності, що характеризує загальний рівень вегетативного розвитку

рослин та безпосередню реалізацію їхнього продуктивного потенціалу. Генотипи з високими значеннями PC1 поєднували добре розвинений габітус із високими показниками структури врожаю, що визначає їхню неабияку селекційну цінність.

Друга головна компонента (PC2) формувалася переважно за рахунок діаметра качана (0,630) та кількості рядів зерен (0,529). На відміну від PC1, вона характеризувала виключно варіабельність архітекtonіки качана та особливості його морфологічної будови (товщину).

Отже, результати PCA свідчать, що селекційна мінливість скоростиглих інбредних сімей кукурудзи детермінується двома основними напрямками: інтегральним рівнем розвитку рослин та продуктивності (PC1), а також особливостями морфологічної організації качана (PC2). Таке розділення факторів мінливості є надзвичайно важливим для селекції, оскільки дозволяє проводити незалежний добір за різними комплексами господарсько цінних ознак.

Кластерний аналіз інбредних сімей

Для глибокого оцінювання фенотипової неоднорідності вихідного матеріалу та встановлення ступеня генетико–фенотипової подібності між лініями нами було проведено ієрархічний кластерний аналіз методом Варда (Ward's method) з використанням евклідової відстані як міри відмінності.

Побудована дендрограма (рис. 5) показала чітку багаторівневу структуру досліджуваної сукупності, що свідчить про значну диференціацію матеріалу після кількох поколінь інбридингу та спрямованого індивідуального добору.

За критерієм різкого збільшення евклідової відстані досліджувані 302 інбредні сім'ї було розподілено на вісім фенотипово відмінних кластерів. Найбільшу частку матеріалу об'єднували кластери I–III, до яких увійшло 157 генотипів (52,0 %). Це вказує на формування великої основної групи селекційного матеріалу зі схожою архітектонікою рослин та близькими параметрами продуктивності.

Натомість кластери VII і VIII характеризувалися найменшою чисельністю та найбільшою евклідовою відстанню від інших груп. Подібна ізолюваність на дендрограмі свідчить про накопичення у цих генотипів специфічних ефектів щодо господарсько цінних ознак, сформованих у процесі індивідуального добору в екстремальних умовах довкілля. Саме ці унікальні генотипи становлять найбільший практичний інтерес для селекції, оскільки вони можуть бути успішно використані як донори нових алельних комбінацій під час створення високогетерозисних гібридів кукурудзи для посушливих умов Степу України.

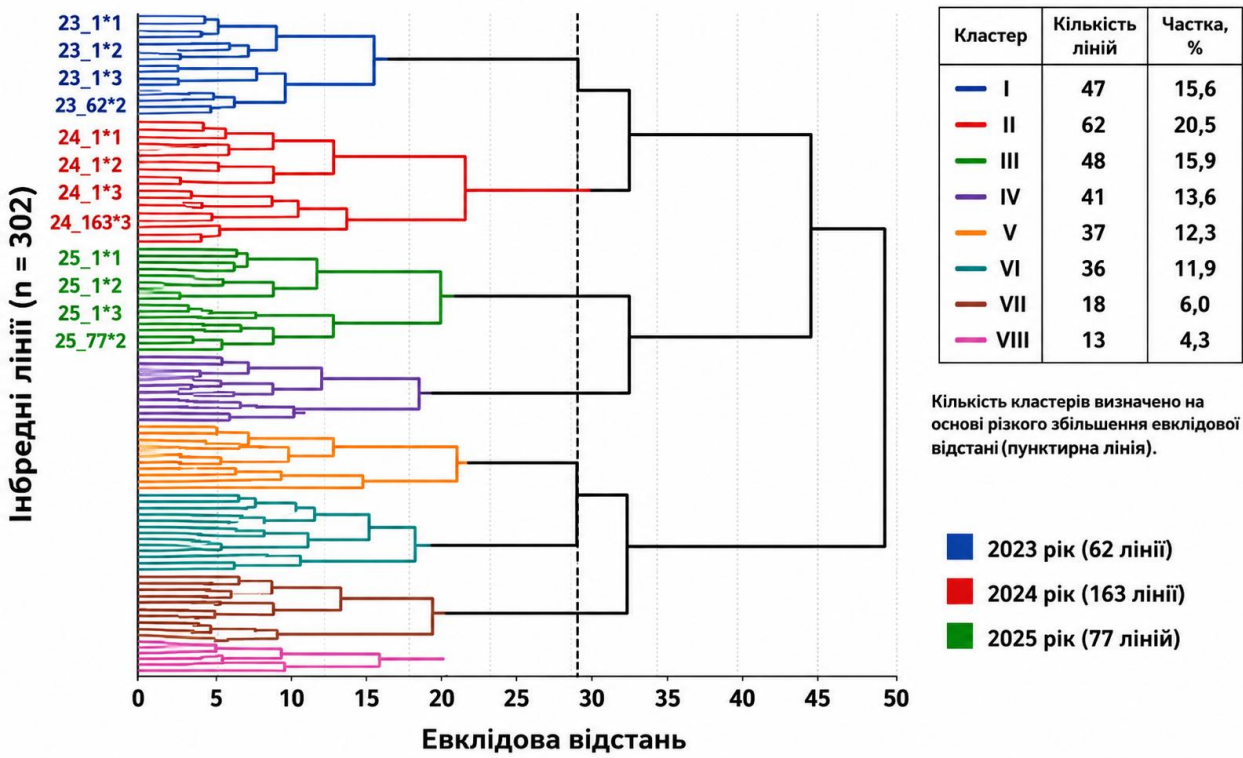


Рис. 5. Дендрограма кластерного аналізу інбредних ліній кукурудзи (2023–2025рр.).

Загалом результати PCA та кластерного аналізу взаємно підтверджують один одного. Обидва багатовимірні методи статистично доводять високий рівень фенотипової різноманітності досліджуваного матеріалу (навіть попри змішану зародкову плазму) та безперечно підтверджують ефективність проведеного нами селекційного добору під час створення нових скоростиглих інбредних сімей кукурудзи.

Висновки до розділу 3:

На основі комплексної оцінки морфологічних і господарсько–цінних ознак 302 самозапилених сімей кукурудзи поколінь S_4 – S_6 , досліджених у контрастних гідротермічних умовах 2023–2025рр., встановлено такі закономірності:

1. Скоростиглість та адаптивність. Більшість досліджуваних генотипів характеризувалися коротшим міжфазним періодом «сходи – цвітіння 50 % качанів» порівняно з ранньостиглою лінією–стандартом ДК315СВЗМ, що підтверджує ефективність добору за скоростиглістю. В екстремально посушливих умовах 2025р. тривалість цього періоду скоротилася до 47–62 діб, що свідчить про істотний вплив гідротермічних факторів на темпи проходження фенологічних фаз.

2. Архітектоніка рослин та технологічність. Формування лінійних параметрів рослин істотно залежало від умов вирощування. Жорстка посуха 2025р. супроводжувалася значним зменшенням висоти рослин і, особливо, висоти прикріплення першого продуктивного качана, мінімальне значення якої становило 5 см. Таке розташування качана може ускладнювати механізоване збирання та підвищувати ризик втрат урожаю, що обґрунтовує доцільність використання сестринських гібридів як материнських компонентів у насінництві кукурудзи.

3. Формування елементів структури врожаю. Посилення гідротермічного стресу супроводжувалося істотним погіршенням більшості компонентів структури врожаю, зокрема довжини качана, кількості рядів зерен та індивідуальної продуктивності рослин. Найбільш екологічно стабільним показником виявився діаметр качана. У 2025р. встановлено компенсаторний характер формування врожаю, за якого істотне зменшення кількості зерен на качані супроводжувалося збільшенням маси 1000 зерен. Незважаючи на несприятливі умови, ідентифіковано високопродуктивні сім'ї, які перевищували стандартну лінію за рівнем продуктивності.

4. Взаємозв'язки ознак та критерії селекційного добору. Парний кореляційний аналіз показав, що продуктивність рослин найтісніше пов'язана з масою 1000 зерен ($r = 0,726$), довжиною качана ($r = 0,604$) та кількістю зерен у ряду ($r = 0,557$). Водночас результати множинного регресійного аналізу, проведеного з урахуванням взаємозалежності досліджуваних показників, засвідчили, що статистично значущий незалежний внесок у формування продуктивності забезпечують насамперед геометричні параметри качана – його довжина ($\beta = 0,60$; $p = 0,03$) та діаметр ($\beta = 0,29$; $p < 0,001$). Це дозволяє розглядати зазначені ознаки як найбільш обґрунтовані критерії селекційного добору високопродуктивного вихідного матеріалу.

5. Фенотипова структура селекційного матеріалу. За результатами аналізу головних компонент (PCA) встановлено, що основну частку фенотипової мінливості визначають два інтегральні фактори: загальний рівень вегетативного розвитку і продуктивності (PC1 – 54,0 % загальної дисперсії) та особливості морфологічної будови качана (PC2 – 15,1 %). Кластерний аналіз розподілив досліджуваний матеріал на вісім фенотипово відокремлених груп. Найбільший практичний інтерес для подальших селекційних досліджень становлять кластери VII та VIII, генотипи яких характеризуються найбільшою фенотиповою своєрідністю та можуть бути перспективними джерелами господарсько–цінних ознак при створенні нових гетерозисних комбінацій.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили високий рівень фенотипового різноманіття створеного самозапиленого матеріалу та дали змогу ідентифікувати генотипи, що поєднують скоростиглість, адаптивність і високий потенціал продуктивності. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для подальшого добору перспективних ліній, формування нових гетерозисних моделей і створення конкурентоспроможних скоростиглих гібридів кукурудзи, адаптованих до ґрунтово–кліматичних умов Північного Степу України.

Результати наукових досліджень, викладені в розділі «Комплексна оцінка та відбір вихідного матеріалу кукурудзи за основними господарсько–цінними ознаками», опубліковані в наукових працях, перелік яких наведено в Додатку А (позиції 1-4).

РОЗДІЛ 4

КОМБІНАЦІЙНА ЗДАТНІСТЬ САМОЗАПИЛЬНИХ ЛІНІЙ ЗА ОЗНАКОЮ «ВРОЖАЙНІСТЬ ЗЕРНА»

Одним із ключових завдань сучасної селекції кукурудзи є створення та ідентифікація інбредних ліній, здатних формувати високопродуктивні гетерозисні комбінації. Ефективність цього процесу визначається не лише рівнем господарсько-цінних ознак самих ліній, а й їхнім генетичним потенціалом у схрещуваннях із різними партнерами. Досягнення цієї мети ґрунтується на цілеспрямованому інбридингу, комплексному аналізі комбінаційних властивостей вихідного матеріалу та науково обґрунтованому доборі батьківських компонентів відповідно до їхньої генетичної сумісності.

У сучасних селекційних програмах оцінювання вихідного матеріалу базується насамперед на його здатності формувати високопродуктивне гібридне потомство. Цей потенціал характеризується рівнем комбінаційної здатності, яку в генетиці кількісних ознак традиційно поділяють на загальну (ЗКЗ) та специфічну (СКЗ) [274].

Для масового скринінгу селекційного матеріалу одним із найбільш поширених методів є топкрос, який передбачає схрещування досліджуваних ліній із визначеним набором тестерів. Оскільки прояв комбінаційної здатності є результатом взаємодії генотипів обох батьківських компонентів, точність і достовірність оцінки значною мірою визначаються генетичною структурою тестерів [275].

Загальновизнаним підходом у світовій практиці є використання генетично віддалених тестерів, зокрема неспоріднених простих гібридів, створених на основі різних еколого-географічних груп вихідного матеріалу. Такий підхід забезпечує більш об'єктивну оцінку комбінаційних властивостей досліджуваних ліній, мінімізує вплив спорідненості між компонентами схрещування та підвищує ефективність ідентифікації перспективних батьківських форм [276].

Ефективність селекційного процесу значною мірою залежить від правильного вибору тестерів відповідно до поставленої мети дослідження. Для достовірного оцінювання загальної комбінаційної здатності доцільно використовувати аналізатори з максимально широкою генетичною основою, тоді як при визначенні специфічної комбінаційної здатності перевагу надають тестерам із більш вузькою генетичною базою. Незважаючи на те, що збільшення кількості тестерів підвищує точність генетико–статистичної оцінки, у практичній селекції, як правило, використовують один–два прості гібриди та одну–дві інбредні лінії. Застосування саме гомозиготних ліній як тестерів забезпечує чіткішу диференціацію селекційного матеріалу за рівнем загальної комбінаційної здатності та сприяє прискоренню створення високогетерозисних і технологічних простих гібридів, що є основою сучасного насінництва кукурудзи [277].

Водночас фенотиповий прояв комбінаційної здатності істотно залежить від умов вирощування. Варіабельність гідротермічних умов року, особливості ґрунтово–кліматичних зон та взаємодія генотипу із середовищем можуть істотно впливати на реалізацію господарсько–цінних ознак. Це ускладнює оцінювання вихідного матеріалу та зумовлює необхідність проведення багаторічних випробувань у різних екологічних умовах для мінімізації впливу факторів середовища на селекційний прогноз [278].

Концепція комбінаційної здатності була сформована під час дослідження явища гетерозису в кукурудзи і згодом стала одним із фундаментальних принципів селекції більшості перехреснозапильних культур [279]. Сьогодні оцінювання комбінаційних властивостей є обов'язковим етапом створення нового вихідного матеріалу, оскільки здатність ліній формувати високопродуктивні гібридні комбінації має не менше практичне значення, ніж рівень прояву їхніх власних морфологічних чи господарсько–цінних ознак [280].

Загальна та специфічна комбінаційна здатність відображають різні складові генетичного контролю кількісних ознак. Загальна комбінаційна

здатність переважно зумовлена адитивною дією генів, тоді як специфічна формується внаслідок неадитивних генетичних ефектів – домінування, наддомінування та епістатичних взаємодій. Такий розподіл має принципове значення для практичної селекції. Переважання адитивних ефектів забезпечує високу ефективність добору вже на ранніх поколіннях інбридингу, тоді як неадитивні ефекти реалізуються переважно у конкретних гібридних комбінаціях і визначають величину гетерозисного ефекту [281].

Практична цінність оцінювання комбінаційної здатності полягає у можливості прогнозування селекційної перспективності нових інбредних ліній. Високі значення загальної комбінаційної здатності свідчать про здатність генотипу стабільно передавати потомству комплекс господарсько–цінних ознак незалежно від партнера у схрещуванні. Натомість специфічна комбінаційна здатність дозволяє виявити окремі пари батьківських форм, взаємодія яких забезпечує максимальний прояв гетерозису. Якщо внесок загальної комбінаційної здатності у фенотипову мінливість істотно перевищує внесок специфічної, це вказує на домінування адитивного типу успадкування та підвищує надійність селекційного прогнозу [282].

Методично оцінювання загальної комбінаційної здатності може здійснюватися за різними системами схрещувань (полікрос, вільне запилення, топкрос, діалельні схеми), тоді як визначення специфічної комбінаційної здатності є найбільш інформативним у топкросних і діалельних схрещуваннях із використанням інбредних ліній або простих гібридів як тестерів [283].

З огляду на викладене, у подальших дослідженнях оцінку комбінаційної здатності новостворених самозапилених ліній кукурудзи проводили методом топкросних схрещувань із використанням контрастних за генетичним походженням тестерів. Такий підхід забезпечив комплексне оцінювання загальної та специфічної комбінаційної здатності вихідного матеріалу, дав можливість виявити найбільш перспективні генотипи та обґрунтувати напрями їх подальшого використання при створенні нових

високогетерозисних гібридів кукурудзи, адаптованих до умов Північного Степу України.

Відповідно до загальноприйнятих методичних рекомендацій [284, 285], у межах експерименту було проведено оцінку генетичного потенціалу самозапилених сімей кукурудзи поколінь S_4 – S_5 .

Для абсолютного контролю процесу запилення та уникнення випадкових похибок, схрещування виконували з використанням індивідуальних ізоляторів, ізолюючи по три качани на кожну комбінацію. Тестування самозапилених сімей проводили за участю трьох генетично різноманітних тестерів змішаної зародкової плазми – (ДК4315М×ДК4404), (ДК2965С×ДК2329) та (ДК2239). Завдяки відмінностям тестерів за походженням, урожайністю та стійкістю до стресів, вдалося ідентифікувати широкий спектр дії адитивних і неадитивних генів.

Польове вивчення створених тесткросів у 2024–2025 рр. дозволило дослідити стабільність прояву комбінаційної здатності на фоні контрастних погодних умов різних років.

Важливим етапом оцінювання селекційного матеріалу є визначення стабільності прояву ефектів комбінаційної здатності за різних умов вирощування. Особливої актуальності така оцінка набуває за контрастних гідротермічних умов, що дозволяє більш об'єктивно визначити селекційну цінність досліджуваного матеріалу. З цією метою проведено узагальнений аналіз ефектів загальної (ЗКЗ) та специфічної (СКЗ) комбінаційної здатності за результатами дворічних досліджень (2024–2025 рр.).

Оцінювання комбінаційної здатності тестерів за ознакою врожайності зерна в середньому за 2024–2025 рр. (табл. 10) виявило істотні відмінності між ними за величиною ефектів загальної комбінаційної здатності. Найвищими та стабільно позитивними значеннями ЗКЗ упродовж двох років досліджень характеризувався тестер ДК2965С×ДК2329 (0,31 та 0,21 відповідно), що свідчить про його високу селекційну цінність і доцільність

використання для оцінювання генетичного потенціалу досліджуваного матеріалу.

Таблиця 10

Комбінаційна здатність тестерів за ознакою «Урожайність зерна»,
2024–2025рр.

Тестер	ЗКЗ		Варіанса СКЗ	
	2024р.	2025р.	2024р.	2025р.
ДК4315М×ДК4404	–1,08	–0,07	0,08	0,08
ДК2965С×ДК2329	0,31	0,21	0,05	0,08
ДК2239	–0,15	–0,15	0,04	0,10
НІР _{0,05} (ЗКЗ)	0,08	0,03	–	–

Тестер ДК2239 характеризувався відносно стабільними, проте нижчими ефектами ЗКЗ (–0,15 у 2024 та 2025 рр.), що свідчить про меншу вираженість адитивних генетичних ефектів порівняно з тестером ДК2965С×ДК2329. Найнижчі значення ЗКЗ встановлено у тестера ДК4315М×ДК4404, особливо у 2024р. (–1,08), що вказує на нижчу ефективність його використання для оцінювання загальної комбінаційної здатності досліджуваних генотипів.

Аналіз варіанс специфічної комбінаційної здатності засвідчив, що досліджені тестери характеризувалися відносно близькими значеннями цього показника (0,04–0,10), хоча найвищу варіансу СКЗ у 2025 році відзначено у тестера ДК2239 (0,10). Це свідчить про певні відмінності у прояві неадитивних генетичних ефектів залежно від генотипу тестера та умов року досліджень.

Таким чином, за сукупністю отриманих результатів тестер ДК2965С×ДК2329 виявився найбільш цінним для оцінювання загальної комбінаційної здатності досліджуваного матеріалу. Отримані результати стали підґрунтям для подальшого аналізу ефектів загальної та специфічної

комбінаційної здатності окремих гібридних комбінацій, сформованих за участю досліджуваних батьківських компонентів.

Для порівняльної оцінки отриманих результатів як еталон використовували лінію–стандарт ДК315СВЗМ. Усереднені ефекти загальної та специфічної комбінаційної здатності досліджуваних комбінацій наведено в таблиці 11.

Аналіз узагальнених даних таблиці засвідчив, що погодно–кліматичні умови років досліджень певною мірою впливали на прояв ефектів загальної та специфічної комбінаційної здатності. Водночас більшість новостворених гібридних комбінацій характеризувалися вищими середніми значеннями ЗКЗ і СКЗ порівняно зі стандартом ДК315СВЗМ, що свідчить про їхній високий селекційний потенціал.

Таблиця 10

Ефекти загальної та специфічної комбінаційної здатності гібридних комбінацій кукурудзи в середньому за 2024–2025 рр.

Гібридна комбінація		ЗКЗ,		Середнє ЗКЗ	СКЗ,		Середнє СКЗ
		2024р.	2025р.		2024р.	2025р.	
Стандарт	ДК315СВЗМ	–0,086	–0,196	–0,141	0,048	–0,010	0,019
Гібридні комбінації	ДК2815× ДК3152	0,114	0,071	0,093	0,035	0,124	0,079
	ДК2815× ДК3153	0,177	–0,048	0,064	–0,051	0,032	–0,010
	ДК2815× ДК315	0,191	–0,069	0,061	0,096	0,116	0,106
	ДК2815× ДК247МВ	0,027	0,069	0,048	0,149	0,134	0,141
	ДК2835× ДК247МВ	0,048	–0,037	0,005	0,208	0,061	0,134
	ДК2835× ДК3152	–0,184	0,127	–0,029	0,109	0,087	0,098
	ДК3152× ДК247МВ	–0,104	–0,081	–0,092	0,103	0,032	0,068

За рівнем загальної комбінаційної здатності найвищий середній ефект встановлено у гібридній комбінації ДК2815×ДК3152 (0,093), яка зберігала позитивні значення показника в обох роках досліджень (0,114 та 0,071 відповідно), що свідчить про відносно стабільний прояв ознаки за контрастних умов вирощування. Позитивні середні ефекти ЗКЗ також відзначено у комбінацій ДК2815×ДК3153 (0,064), ДК2815×ДК315 (0,061) та ДК2815×ДК247МВ (0,048). Водночас для окремих гібридів спостерігалася суттєва мінливість ефектів між роками, що вказує на значний вплив умов середовища на реалізацію їхнього генетичного потенціалу.

Аналіз специфічної комбінаційної здатності показав, що більшість досліджених комбінацій перевищували стандарт за середніми значеннями СКЗ. Найвищим середнім ефектом характеризувалася комбінація ДК2815×ДК247МВ (0,141), яка демонструвала стабільно високі значення показника впродовж двох років досліджень (0,149 у 2024р. та 0,134 у 2025р.). Високі середні ефекти СКЗ також встановлено для комбінацій ДК2835×ДК247МВ (0,134), ДК2815×ДК315 (0,106) та ДК2835×ДК3152 (0,098), що свідчить про сприятливе поєднання генетичних компонентів батьківських форм.

Таким чином, проведене оцінювання дозволило виявити істотні відмінності між досліджуваними тестерами та гібридними комбінаціями за ефектами загальної і специфічної комбінаційної здатності. Отримані результати стали підставою для виділення найбільш перспективних комбінацій, які рекомендовано для подальшого використання у селекційному процесі.

Висновки до розділу 4 :

1. Аналіз комбінаційної здатності тестерів за ознакою врожайності зерна в умовах 2024–2025 рр. засвідчив істотні відмінності між досліджуваними генотипами за рівнем адитивних генетичних ефектів. Найвищими та стабільно позитивними ефектами загальної комбінаційної здатності

характеризувався тестер ДК2965С×ДК2329, що свідчить про його високу селекційну цінність як компонента для оцінювання вихідного матеріалу.

2. Оцінювання гібридних комбінацій показало, що за рівнем середніх ефектів загальної комбінаційної здатності найбільш перспективною є комбінація ДК2815×ДК3152 (0,093), яка зберігала позитивні значення показника впродовж двох років досліджень. Це свідчить про відносну стабільність прояву адитивних генетичних ефектів та перспективність її використання в селекційному процесі.
3. Найвищими середніми ефектами специфічної комбінаційної здатності характеризувалася комбінація ДК2815×ДК247МВ (0,141), яка поряд із позитивними ефектами загальної комбінаційної здатності забезпечувала стабільний прояв неадитивних генетичних ефектів упродовж двох років досліджень. Високі середні ефекти СКЗ також встановлено для комбінацій ДК2835×ДК247МВ (0,134) та ДК2815×ДК315 (0,106), що свідчить про ефективне поєднання генетичних компонентів батьківських форм.
4. Порівняльний аналіз результатів за 2024–2025 рр. показав, що контрастні погодно–кліматичні умови впливали на величину ефектів загальної та специфічної комбінаційної здатності, однак окремі комбінації зберігали позитивні значення показників в обох роках досліджень, що характеризує їх як відносно стабільні за проявом цінних господарських ознак.
5. Комплексна оцінка тестерів і гібридних комбінацій дозволила виділити ДК2965С×ДК2329 як найбільш інформативний тестер для оцінювання селекційного матеріалу, а комбінації ДК2815×ДК3152 та ДК2815×ДК247МВ – як найбільш перспективні за сукупністю адитивних і неадитивних генетичних ефектів для подальшого використання у програмах селекції високопродуктивних гібридів кукурудзи.

РОЗДІЛ 5

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ПЛАСТИЧНОСТІ ТА АДАПТИВНОЇ ЗДАТНОСТІ ТЕСТКРОСІВ КУКУРУДЗИ ЗА ГОСПОДАРСЬКО- ЦІННИМИ ОЗНАКАМИ

5.1 Тривалість періоду сходи – цвітіння 50 % качанів у тесткросів

Тривалість міжфазних періодів є одним із визначальних показників росту й розвитку рослин кукурудзи, що характеризує особливості реалізації їхнього генетичного потенціалу продуктивності та адаптивності. Серед фенологічних показників особливе значення мають міжфазні періоди «сходи – цвітіння 50 % волотей» та «сходи – цвітіння 50 % качанів», які характеризують темпи розвитку рослин і визначають їх належність до відповідної групи стиглості. Упродовж цього періоду відбувається формування генеративних органів, закладаються основні елементи структури врожаю та реалізуються важливі фізіолого-біохімічні процеси, що визначають майбутню продуктивність рослин [284, 285].

В умовах сучасних кліматичних змін тривалість зазначеного міжфазного періоду набуває особливого значення, оскільки саме в цей час рослини найбільш чутливі до дефіциту ґрунтової вологи та підвищених температур. Вплив цих факторів може призводити до порушення синхронності цвітіння, зниження життєздатності пилку та погіршення запліднення, що негативно позначається на формуванні врожаю [96].

У цьому підрозділі наведено результати оцінювання тесткросів за тривалістю періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» у 2024–2025 рр., що дозволило визначити особливості прояву цієї ознаки, оцінити реакцію досліджуваних генотипів на контрастні умови років та виділити найбільш перспективні комбінації за скоростиглістю.

У 2024 році середня тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» у досліджуваних тесткросів становила 52–53 доби, тоді як у стандарту ДБ Хотин цей показник дорівнював 54 добам (табл. 11). Загалом у тесткросів тривалість зазначеного міжфазного періоду варіювала в межах 49–

56 діб. Найменшу тривалість періоду встановлено у тесткросів групи ДК2239 ($\text{Lim min} = 49$ діб), які водночас характеризувалися найбільшим діапазоном варіювання ознаки ($\text{Lim} = 49\text{--}56$ діб) та найвищим середнім значенням показника серед досліджуваних комбінацій (53 доби).

Таблиця 11

**Тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» тесткросів
в порівнянні з стандартами, діб**

Роки	Показники		Тесткроси			Стандарт
			ДК4315М× ДК4404	ДК2965С× ДК2329	ДК 2239	ДБ Хотин
2024	$\bar{x}$		52	52	53	54
	Lim	min	50	50	49	–
		max	55	55	56	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,13			
	V, %		3,8			
2025	$\bar{x}$		54	55	54	53
	Lim	min	51	51	50	–
		max	57	58	55	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,15			
	V, %		4,3			

Примітка.* $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

Для тесткросів ДК4315М×ДК4404 та ДК2965С×ДК2329 межі варіювання були близькими і становили 50–55 діб при середньому значенні 52 доби. Коефіцієнт варіації ознаки у 2024 році становив 3,8 %, а значення показника точності оцінки середнього ($tS_{(\bar{x})}$) – 0,13, що свідчить про незначну мінливість досліджуваної ознаки. Різниця між строками цвітіння качанів і волотей у середньому не перевищувала 1 доби, що вказує на високу синхронність проходження генеративної фази розвитку.

У 2025 році тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» у тесткросів покоління S_5 збільшилася порівняно з попереднім роком і становила в середньому 54–55 діб, тоді як у стандарті ДБ Хотин цей показник зменшився до 53 діб. Межі варіювання у досліджуваного матеріалу розширилися до 50–58 діб. Найбільшу тривалість міжфазного періоду (58 діб) та найвище середнє значення (55 діб) встановлено у тесткросів за участю ДК2965С×ДК2329. Одночасно у 2025р. відзначено підвищення коефіцієнта варіації до 4,3 % та збільшення значення ($tS_{(\bar{x})}$) до 0,15, що свідчить про зростання фенотипової мінливості ознаки під впливом умов середовища.

Збільшення тривалості міжфазного періоду у 2025 році, ймовірно, було пов'язане з особливостями температурного режиму та недостатнім забезпеченням рослин вологою в окремі періоди вегетації, що могло впливати на швидкість проходження генеративних фаз розвитку. Водночас незначна різниця між строками цвітіння волотей і качанів упродовж обох років досліджень свідчить про збереження синхронності цвітіння у більшості досліджуваних тесткросів, що є важливою передумовою ефективного запилення та формування високого рівня продуктивності.

Таким чином, за результатами оцінювання тесткросів у 2024–2025 рр. встановлено, що тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» змінювалася залежно від умов року вирощування. Більш стабільним проявом ознаки характеризувалися генотипи з меншою амплітудою варіювання та збереженням оптимальної синхронності цвітіння, що визначає їхню перспективність у селекції скоростиглих гібридів кукурудзи.

5.2 Висота рослин і висота прикріплення першого продуктивного качана у тесткросів

Сучасні програми селекції кукурудзи передбачають обов'язковий комплексний аналіз морфометричних параметрів рослини безпосередньо в агроценозах, залишаючи в минулому підходи, що фокусувалися виключно на

фенотипічних особливостях качана. Як зазначалося у фундаментальних працях І. В. Мічуріна, просторова будова вегетативних та генеративних органів тісно пов'язана з фізіологічним потенціалом рослини. Застосування такого системного бачення суттєво оптимізує добір, даючи змогу виокремлювати унікальні генотипи з високим ступенем реалізації продуктивних властивостей у мінливих екологічних нішах [286].

Процес ростоутворення та кінцева продуктивність культури є наслідком складної інтеграції спадкової інформації з умовами навколишнього середовища. Саме завдяки безперервному перебігу фізіолого-біохімічних реакцій формується специфічна адаптивна відповідь рослинного організму на дію мінливих абіотичних факторів [287].

На етапі створення та скринінгу вихідного матеріалу особлива увага приділяється висоті рослин та ярусності закладання першого продуктивного качана [64]. Незважаючи на строгу генетичну детермінацію, ступінь фенотипового прояву цих ознак зазнає сильного модифікуючого впливу з боку гідротермічного режиму, тривалості світлового дня та елементів агротехніки. Відповідно, такі морфологічні параметри виступають об'єктивними критеріями оцінки толерантності генотипів до стресорів. Серед усього комплексу зовнішніх чинників саме ліміт вологи чинить найрадикальніший вплив на темпи лінійного росту, оскільки від водного балансу безпосередньо залежить інтенсивність фотосинтетичної активності та ефективність розподілу асимілятів [103, 288, 289].

Рівень просторового розміщення головного качана на стеблі належить до критичних характеристик, що визначають не лише потенціал урожайності, а й технологічну придатність гібридів. Хоча цей показник відрізняється значною варіабельністю порівняно із загальною довжиною стебла, між обома ознаками фіксується стійка позитивна залежність: інтенсивне наростання вегетативної маси, як правило, супроводжується більш високим закладанням генеративних органів [290].

Вдало сформований габітус забезпечує рослинам конкурентну перевагу у фітоценозі, зокрема сприяє кращому пригніченню бур'янової рослинності та оптимізує споживання ґрунтових ресурсів. Використання високорослих інбредних ліній у програмах схрещувань відкриває перспективи для синтезу пластичних універсальних гібридів. Такі форми однаково ефективні як у зерновому, так і в силосному напрямках використання, забезпечуючи стабільну продуктивність у контрастних агрокліматичних умовах [53, 291].

Сучасні індустріальні технології вирощування диктують суворі вимоги до морфотипу батьківських компонентів, особливо під час механізованого збирання на ділянках гібридизації. Аби звести до мінімуму втрати насіннєвого матеріалу, найкращими визнаються форми, які формують стебло завдовжки 150–180 см із розміщенням нижнього качана на висоті від 50 см. [57, 292]. Практична цінність таких селекційних матеріалів значно підвищується, якщо вони характеризуються стійкістю до кореневого та стеблового вилягання, мають коротку ніжку та сприятливе просторове позиціонування качана. Комплексний прояв цих ознак захищає насіння від механічних пошкоджень робочими органами комбайна, суттєво підвищуючи економічну ефективність насінництва [42].

У наших дослідженнях не було зафіксовано значних коливань показника «висота рослини» у тесткросів (табл. 12). За результатами досліджень встановлено, що у 2024р. середня висота рослин досліджуваних тесткросів знаходилася в межах 235,2–239,7 см. (табл. 12). Найвищими рослинами характеризувалися тесткроси за участю тестера ДК2239, де середнє значення ознаки становило 239,7 см. Найменшу висоту рослин відзначено у комбінації ДК4315М×ДК4404 (235,2 см). У гібрида–стандарту ДБ Хотин висота рослин у цей рік становила 242,0 см, що лише незначно перевищувало середні значення досліджуваних тесткросів. Загалом, отримані результати свідчать про близький рівень розвитку рослинного габітусу у досліджуваного матеріалу та стандарту. Межі варіювання ознаки у тесткросів були досить широкими й становили 175–285 см., при цьому коефіцієнт

варіації дорівнював 5,9 %, що характеризує середній рівень мінливості висоти рослин.

Таблиця 12

Параметри варіювання ознаки “висота рослин” у тесткросів, см.

Роки	Показники		Тесткроси			Стандарт
			ДК4315М× ДК4404	ДК2965С× ДК2329	ДК 2239	ДБ Хотин
2024	$\bar{x}$		235,2	236,7	239,7	242
	Lim	min	180	175	190	—
		max	280	280	285	—
	$tS_{(\bar{x})}$		0,88			
	V, %		5,9			
2025	$\bar{x}$		170,2	182,1	184,1	185
	Lim	min	136	100	93	—
		max	212	223	224	—
	$tS_{(\bar{x})}$		0,76			
	V, %		3,8			

Примітка. $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.*

У 2025р. висота рослин досліджуваних тесткросів зменшилася порівняно з попереднім роком і залежно від комбінації становила 170,2–184,1 см., тоді, як у стандарті ДБ Хотин цей показник дорівнював 185,0 см. Межі варіювання ознаки залишалися достатньо широкими (93–224 см.). Разом із тим коефіцієнт варіації знизився до 3,8 %, що свідчить про меншу фенотипову мінливість висоти рослин та більш вирівняний прояв ознаки у досліджуваних генотипів за умов цього року.

Зменшення висоти рослин у 2025р., порівняно з 2024р., можна пов’язати з впливом несприятливих гідротермічних умов вегетаційного періоду, зокрема дефіцитом вологи та підвищеним температурним режимом у критичні фази росту й розвитку рослин. За таких умов обмеження ростових

процесів є однією з типових реакцій кукурудзи на дію абіотичних стресів. Водночас збереження відносно невисокого рівня варіабельності ознаки у 2025р. свідчить про певну стабільність формування висоти рослин досліджуваними тесткросами за несприятливих умов вирощування.

Таблиця 13

**Параметри варіювання ознаки “висота прикріплення качана” у
тесткросів, см.**

Роки	Показники		Тесткроси			Стандарт
			ДК4315М× ДК4404	ДК2965С× ДК2329	ДК 2239	ДБ Хотин
2024	$\bar{x}$		82,9	86,6	87,2	91,9
	Lim	min	40	50	50	—
		max	125	130	135	—
	$tS_{(\bar{x})}$		0,9			
	V,%		16,6			
2025	$\bar{x}$		63,9	72,8	75,5	63
	Lim	min	32	42	15	—
		max	89	100	102	—
	$tS_{(\bar{x})}$		0,5			
	V,%		11,2			

Примітка. $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.*

За результатами досліджень у 2024–2025 рр. встановлено залежність прояву висоти прикріплення першого продуктивного качана у тесткросів кукурудзи від умов року вирощування (табл. 13).

У 2024р. висота прикріплення першого продуктивного качана характеризувалася відносно високими середніми значеннями. Залежно від досліджуваної комбінації середній показник становив 82,9–87,2 см., тоді як у гібрида–стандарту ДБ Хотин він був дещо вищим і дорівнював 91,9 см. Межі варіювання ознаки у тесткросів були достатньо широкими та становили 40–

135 см. Коефіцієнт варіації (V) на рівні 16,6 % свідчить про помірну мінливість ознаки та наявність диференціації генотипів за рівнем формування генеративної зони рослин.

У 2025р. відзначено зниження середніх значень висоти прикріплення першого продуктивного качана, які залежно від комбінації становили 63,9–75,5 см. У стандарту ДБ Хотин цей показник зменшився до 63,0 см., унаслідок чого всі досліджувані тесткриси характеризувалися вищим рівнем прикріплення качана порівняно з контролем. Межі варіювання ознаки у цей рік становили 15–102 см. Водночас коефіцієнт варіації знизився до 11,2 %, що вказує на зменшення фенотипової мінливості ознаки та більш вирівняний характер її прояву за умов стресового року.

Зниження висоти прикріплення качана у 2025 році може бути пов'язане з впливом несприятливих гідротермічних умов, зокрема дефіцитом вологи та підвищеним температурним режимом у період активного росту рослин. Така реакція є одним із проявів адаптивної відповіді кукурудзи на абіотичний стрес, що супроводжується обмеженням ростових процесів.

Разом із тим частина досліджуваних тесткросів, зокрема створених за участю тестерів ДК2965С×ДК2329 та ДК2239, зберігала відносно високий рівень прикріплення качана (понад 72–75 см), що є сприятливою ознакою з точки зору технологічності вирощування та механізованого збирання врожаю. Отримані результати свідчать про наявність у досліджуваному матеріалі генотипів зі стабільним формуванням морфологічної структури рослин, які можуть бути використані у подальшому селекційному процесі.

5.3 Врожайність і збиральна вологість зерна тесткросів

Урожайність зерна є інтегральним показником ефективності селекційного процесу, оскільки відображає сумарний прояв генетичного потенціалу гібридів та їхню здатність реалізовувати продуктивність у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах. Для скоростиглих гібридів кукурудзи поряд із високим рівнем урожайності важливого значення набуває

стабільність її прояву за контрастних умов вирощування, що визначає адаптивність селекційного матеріалу та можливість його практичного використання [293].

Формування високої продуктивності тісно пов'язане з генетичною природою вихідних компонентів, рівнем їхньої комбінаційної здатності та ефективністю реалізації гетерозису в гібридному потомстві. Саме тому оцінювання тесткросів за врожайністю зерна дозволяє не лише встановити продуктивний потенціал окремих комбінацій, а й підтвердити селекційну цінність використаних батьківських форм, відібраних на попередніх етапах досліджень [294].

Поряд із врожайністю важливою господарсько цінною ознакою є збиральна вологість зерна, яка визначає технологічну й економічну ефективність вирощування гібридів. Низька вологість зерна на момент збирання дає змогу зменшити витрати на післязбиральне досушування, скоротити енергетичні витрати та підвищити економічну ефективність виробництва, що особливо актуально для гібридів, призначених для вирощування в умовах Степу України [295].

У цьому підрозділі наведено результати оцінювання тесткросів за рівнем урожайності та збиральної вологості зерна в умовах 2024–2025 рр. Порівняльний аналіз продуктивності досліджуваних комбінацій у роки, що суттєво відрізнялися за гідротермічними умовами, дав можливість оцінити особливості реалізації їхнього генетичного потенціалу, визначити найбільш адаптивні генотипи та виділити перспективні комбінації для подальшого використання у селекції скоростиглих гібридів кукурудзи.

У наших дослідженнях як стандарт використовували районований середньоранній гібрид ДБ Хотин, який слугував еталоном для оцінювання продуктивності досліджуваних тесткросів. Основним критерієм оцінювання новостворених комбінацій була урожайність зерна, яку аналізували шляхом порівняння із середнім значенням по досліді та показниками гібрида–стандарту.

Збирання врожаю та облік урожайності проводили у першій–другій декаді вересня після досягнення зерном збиральної стиглості та вологості, придатної для прямого комбайнування. Одночасно визначали збиральну вологість зерна, як одну з найважливіших господарсько–цінних ознак, що характеризує придатність гібридів до вирощування за сучасними ресурсоощадними технологіями.

У межах досліджень проаналізовано три групи тесткросів, отриманих за участю різних тестерів. Оцінювання продуктивності розпочато у 2024р. на тесткросах, синтезованих у 2023р. за участю інбредних сімей четвертого покоління самозапилення (S_4). Результати оцінювання урожайності зерна наведено в таблиці 14.

Таблиця 14

Параметри варіювання ознаки “Урожайність зерна”, т/га.

Роки	Показники		Тесткроси			Стандарт
			ДК4315М [×] ДК4404	ДК2965С [×] ДК2329	ДК 2239	ДБ Хотин
2024	$\bar{x}$		5,7	5,5	5,2	5,6
	Lim	min	4,0	3,7	3,1	–
		max	7,1	7,2	6,8	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,05			
	V, %		14,6			
2025	$\bar{x}$		1,8	2,0	1,7	1,8
	Lim	min	1,0	1,1	0,9	–
		max	2,9	2,8	3,2	–
	$tS_{(\bar{x})}$		0,03			
	V, %		23,8			

Примітка.* $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

Результати досліджень 2024–2025 рр. засвідчили виражений вплив гідротермічних умов року на формування урожайності зерна тесткросів

кукурудзи та реалізацію їхнього продуктивного потенціалу (табл. 14). У 2024р. продуктивність досліджуваних комбінацій характеризувалася відносно високими середніми значеннями та помірною мінливістю, що, ймовірно, було зумовлено більш сприятливим поєднанням температурного режиму і вологозабезпечення на основних етапах росту та розвитку рослин.

Залежно від використаного тестера середня урожайність тесткросів становила 5,2–5,7 т/га, що відповідало або перевищувало показник гібрида–стандарту ДБ Хотин (5,6 т/га). Найвищу середню урожайність сформували тесткроси за участю тестера ДК4315М×ДК4404 (5,7 т/га). Загальний діапазон варіювання ознаки становив 3,1–7,2 т/га: мінімальне значення відзначено у групі тесткросів ДК2239, тоді як максимальне – у комбінацій за участю тестера ДК2965С×ДК2329. Коефіцієнт варіації (V) дорівнював 14,6 %, що характеризує помірний рівень фенотипової мінливості досліджуваної ознаки, а значення показника точності середньої ($tS_{(\bar{x})}$) становило 0,05.

У 2025 р., який характеризувався більш жорсткими гідротермічними умовами, продуктивність усіх досліджуваних тесткросів істотно знизилася. Такий характер змін, імовірно, був пов'язаний із негативним впливом високих температур та дефіциту ґрунтової вологи в період цвітіння і наливу зерна. Середня урожайність тесткросів залежно від тестера становила лише 1,7–2,0 т/га, тоді, як у гібрида–стандарту ДБ Хотин – 1,8 т/га.

Найкращу реалізацію продуктивного потенціалу за несприятливих умов забезпечили тесткроси за участю тестера ДК2965С×ДК2329, середня урожайність яких досягла 2,0 т/га і перевищувала показник стандарту. Межі варіювання ознаки змістилися до 0,9–3,2 т/га, причому обидва екстремальні значення були зафіксовані серед тесткросів групи ДК2239, що свідчить про значну неоднорідність їхньої реакції на умови середовища. Одночасно коефіцієнт варіації збільшився до 23,8 %, що вказує на суттєве зростання фенотипової мінливості та різну норму реакції генотипів на дію абіотичних стресів. Значення показника точності середньої $tS_{(\bar{x})}$ становило 0,03.

Порівняльний аналіз результатів досліджень показав, що реакція тесткросів на контрастні умови років була неоднаковою. Якщо більшість комбінацій у 2025р. характеризувалася різким зниженням урожайності, то окремі генотипи змогли зберегти відносно вищий рівень продуктивності. Найбільшою адаптивністю відзначилися тесткриси за участю тестера ДК2965С×ДК2329, які навіть за жорсткого дефіциту вологи перевищували середній рівень урожайності по досліді та показник гібрида–стандарту. Це свідчить про їхню здатність ефективніше реалізовувати генетичний потенціал продуктивності в умовах абіотичного стресу.

Отримані результати підтверджують, що урожайність зерна є інтегральним показником адаптивності досліджуваного матеріалу до умов вирощування. Виділені тесткриси, які поєднували високий рівень продуктивності зі стабільністю її прояву в контрастних гідротермічних умовах, становлять значний практичний інтерес як вихідний матеріал для створення скоростиглих гібридів кукурудзи, адаптованих до умов Степу України.

Поряд із рівнем урожайності важливою господарсько–цінною ознакою, що визначає селекційну та виробничу цінність гібридів кукурудзи, є збиральна вологість зерна. Її величина характеризує інтенсивність вологовіддачі в період досягання та значною мірою визначає технологічну придатність гібридів до раннього збирання, потребу в післязбиральному досушуванні й економічну ефективність їх вирощування [295].

Оцінювання збиральної вологості зерна в поєднанні з аналізом урожайності дає змогу комплексно охарактеризувати продуктивний потенціал досліджуваних тесткросів, виділити генотипи, які поєднують високий рівень продуктивності з інтенсивною вологовіддачею, та визначити найбільш перспективні комбінації для подальшого використання в селекції скоростиглих гібридів кукурудзи [296].

Результати статистичного аналізу та параметри варіювання ознаки «збиральна вологість зерна» наведено в таблиці 15.

Таблиця 15

Параметри варіювання ознаки “збиральна вологість зерна”, %

Роки	Показники		Тесткриси			Стандарт
			ДК4315М× ДК4404	ДК2965С× ДК2329	ДК 2239	ДБ Хотин
2024	$\bar{x}$		8,9	10,8	10,7	9,1
	Lim	min	7,9	8,3	8,4	—
		max	12,0	17,1	13,2	—
	$tS_{(\bar{x})}$		0,11			
	V, %		17,02			
2025	$\bar{x}$		15,6	16,0	15,2	15,8
	Lim	min	11,2	11,5	11,1	—
		max	20,8	22,1	21,3	—
	$tS_{(\bar{x})}$		0,26			
	V, %		31,12			

Примітка.* $\bar{x}$ – середнє значення; V – коефіцієнт варіації; $tS_{(\bar{x})}$ – довірчий інтервал.

Збиральна вологість зерна є однією з найважливіших господарсько–цінних ознак кукурудзи, оскільки характеризує інтенсивність вологовіддачі зерна в період досягання та значною мірою визначає технологічну й економічну ефективність вирощування гібридів. Результати досліджень 2024–2025рр. засвідчили виражену диференціацію тесткрисів за рівнем збиральної вологості зерна, а також суттєву залежність прояву цієї ознаки від гідротермічних умов року вирощування (табл. 15).

У 2024р. збиральна вологість зерна характеризувалася низькими середніми значеннями, що, ймовірно, було пов'язано з високими температурами повітря та дефіцитом вологи у другій половині вегетації, які сприяли прискореному досягання зерна й інтенсивнішій вологовіддачі.

Залежно від комбінації середні значення показника становили 8,9–10,8 %. Найнижчу середню збиральну вологість (8,9 %) сформували

тесткриси за участю тестера ДК4315М×ДК4404, що було дещо нижче за показник гібрида–стандарту ДБ Хотин (9,1 %). У решти досліджуваних комбінацій цей показник незначно перевищував рівень стандарту. Межі варіювання ознаки становили 7,9–17,1 %, а коефіцієнт варіації (V) дорівнював 17,02 %, що свідчить про середній рівень фенотипової мінливості збиральної вологості зерна.

У 2025р. відзначено підвищення середніх значень збиральної вологості до 15,2–16,0 %, що можна пов'язати з менш сприятливими умовами для фізичного висихання зерна наприкінці вегетації. У гібрида–стандарту ДБ Хотин збиральна вологість становила 15,8 %. На цьому фоні тесткриси за участю тестерів ДК2239 (15,2 %) та ДК4315М×ДК4404 (15,6 %) характеризувалися нижчою вологістю зерна порівняно зі стандартом, що свідчить про відносно інтенсивнішу вологовіддачу. Межі варіювання ознаки розширилися до 11,1–22,1 %, а коефіцієнт варіації збільшився до 31,12 %, що вказує на значне зростання фенотипової мінливості та неоднакову реакцію досліджуваних генотипів на умови року.

Порівняльний аналіз результатів досліджень показав, що навіть за менш сприятливих умов для висихання зерна у 2025р. окремі тесткриси зберігали порівняно низьку збиральну вологість (11,1–11,5 %), що свідчить про їхню здатність ефективніше втрачати вологу в період досягання. Такі комбінації становлять цінний вихідний матеріал для селекції скоростиглих гібридів кукурудзи, які поєднують високий рівень продуктивності з низькою збиральною вологістю зерна та, відповідно, меншими витратами на післязбиральне досушування.

Висновки до розділу 5:

Комплексне оцінювання тесткросів кукурудзи за основними господарсько–цінними ознаками в контрастних гідротермічних умовах 2024–2025 рр. дало змогу встановити особливості їхньої фенотипової реакції на умови вирощування та виділити перспективні генотипи для подальшого селекційного використання.

Встановлено, що тривалість міжфазного періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» залежала від умов року вирощування. У 2024р. вона становила в середньому 52–53 доби, тоді як у 2025р. збільшилася до 54–55 діб. Незважаючи на це, у більшості тесткросів різниця між строками цвітіння волотей і качанів не перевищувала однієї доби, що свідчить про добру синхронність цвітіння та є важливою передумовою реалізації продуктивного потенціалу.

Морфометричні показники тесткросів істотно змінювалися залежно від гідротермічних умов року. У 2025р. порівняно з 2024р. середня висота рослин зменшилася з 235,2–239,7 до 170,2–184,1 см, а висота прикріплення першого продуктивного качана – з 82,9–87,2 до 63,9–75,5 см. Водночас тесткроси за участю тестерів ДК2965С×ДК2329 та ДК2239 зберігали оптимальну для механізованого збирання висоту прикріплення качана (понад 72 см), що свідчить про їхню добру адаптивність.

Урожайність зерна істотно залежала від умов вирощування. У 2024р. середня продуктивність тесткросів становила 5,2–5,7 т/га. і відповідала або перевищувала рівень гібрида–стандарту ДБ Хотин, тоді як у посушливому 2025р. вона знизилася до 1,7–2,0 т/га. Найкращу реалізацію продуктивного потенціалу за несприятливих умов забезпечили тесткроси за участю тестера ДК2965С×ДК2329, які сформували найвищу середню урожайність (2,0 т/га) та перевищили показник стандарту.

Досліджувані тесткроси характеризувалися вираженою диференціацією за збиральною вологістю зерна. У 2024р. середні значення становили 8,9–10,8 %, а у 2025р. зросли до 15,2–16,0 %, що відображає вплив погодних умов наприкінці вегетації. Нижчу збиральну вологість порівняно зі стандартом у 2025р. сформували тесткроси за участю тестерів ДК2239 та ДК4315М×ДК4404, що свідчить про їхню відносно інтенсивнішу вологовіддачу.

Комплексна оцінка господарсько–цінних ознак дозволила встановити різну селекційну цінність досліджуваних тесткросів. Найбільш

перспективними за поєднанням продуктивності, адаптивності до несприятливих умов та стабільності прояву ознак виявилися комбінації за участю тестера ДК2965С×ДК2329, які зберігали найвищий рівень урожайності у посушливих умовах 2025р.. Окремі тесткроси за участю тестерів ДК2239 та ДК4315М×ДК4404 становлять інтерес як джерела прискореної вологовіддачі зерна та оптимальних морфологічних характеристик. Виділені генотипи доцільно використовувати як вихідний матеріал у селекції скоростиглих гібридів кукурудзи, адаптованих до умов Степу України.

РОЗДІЛ 6.

СЕЛЕКЦІЙНА ЦІННІСТЬ ТА МОРФО – БІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕНИХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ

На основі результатів проведених комплексних багаторічних наукових досліджень, спрямованих на інтенсифікацію селекційного процесу та вдосконалення наявного генофонду культури, було розроблено та теоретично обґрунтовано створення нових конкурентоспроможних високопродуктивних гібридів кукурудзи. Завдяки поєднанню високого генетичного потенціалу врожайності з широким спектром адаптивності до мінливих факторів довкілля, зазначені генотипи успішно пройшли повний цикл кваліфікаційної експертизи, що включав багатоцентрове конкурсне та державне сортовипробування. На підставі отриманих позитивних висновків щодо господарської придатності, дані об'єкти селекції були офіційно включені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні:

СЕРЕДНЬОРАННІ:

ДН Буча – Простий модифікований середньоранній гібрид кукурудзи (ФАО 280). Занесений до Державного реєстру сортів рослин України у 2025 році. Напрямок використання – зерновий. Рослини середньорослі, висотою до 230 см, не кущаються. Висота прикріплення качана становить 80–90 см. Качани циліндричної форми, завдовжки 23–24 см. Кількість рядів зерен на качані – 16, кількість зерен у ряду – 41–43 шт. Стрижень червоного кольору. Зерно жовто–оранжеве, за типом – зубоподібне. Маса 1000 зерен становить 270–280 г.

Гібрид відзначається високою стійкістю до ураження найбільш шкочинними хворобами та шкідниками, зокрема пухирчастою та летючою сажкою, фузаріозними гнилями та кукурудзяним метеликом. Спостерігається помірна ремонтантність рослин (ефект «stay green»). Забезпечує високу та стабільну Урожайність зерна у різних екологічних зонах. Потенційна Урожайність становить 15,5 т/га. За даними конкурсного випробування

ДУ ІЗК НААН, урожайність зерна у 2021 р. склала 10,63 т/га, у 2022 р. – 7,87 т/га, у 2023 р. – 8,47 т/га, а у 2024 р. – 7,82 т/га при збиральній вологості 23,9; 20,8; 15,9 та 9,0 % відповідно за роками.

Характеризується середнім стартовим ростом та відносно доброю вологовіддачею під час дозрівання. Гібрид вирізняється високою посухо- та жаростійкістю (оцінка 9 балів), а також непогано витримує короточасні весняні похолодання. Позитивно реагує на покращення умов вирощування (внесення мінеральних добрив, зрошення). Рекомендована передзбиральна густота стояння рослин у зоні Степу становить 60–65 тис. шт./га, Лісостепу – 80–85 тис. шт./га, Полісся – 90–100 тис. шт./га.

ДН Явір – Простий модифікований середньоранній гібрид кукурудзи (ФАО 280). Державна реєстрація майнового права на поширення сорту відбулася у 2025 році. Напрямок використання – зерновий. Рослини класифікуються як довгі, їхня висота залежно від зони вирощування становить від 216,8 см до 263,6 см. Висота прикріплення качана знаходиться на рівні 81,6–92,5 см. Качани конусно-циліндричної форми, короткі за довжиною, проте мають великий діаметр. Кількість зернових рядів на качані – середня. Стрижень (луски стрижня) має сильне антоціанове забарвлення. Зерно характеризується жовтим забарвленням верхівки та жовто-оранжевим низом, за типом – зубовидне. Гібрид відзначається максимальною стійкістю (9 балів) до вилягання, а також до ураження такими хворобами, як пухирчаста сажка (зокрема й за штучного зараження) та стеблова гниль. Стійкість до гельмінтоспоріозу оцінюється високо (7–9 балів), а до кукурудзяного метелика – на рівні 5–7 балів. За результатами польових досліджень показників господарської придатності, урожайність зерна (за стандартної вологості 14 %) у зоні Степу становить 3,70 т/га, у зоні Лісостепу – 7,36 т/га, а в зоні Полісся сягає 9,14 т/га. Тривалість періоду вегетації становить 111 діб у зоні Степу, 124 доби у Лісостепу та 123 доби на Поліссі. Гібрид демонструє стійкість до посухи на рівні 5–8 балів залежно від екологічної зони. Зерно відзначається гарними технологічними показниками:

вихід зерна становить 79,9–83,8 %, вміст білка – 9,0–9,7 %, а крохмалю – 68,5–70,4 %. Згідно з географічними та зоновими рекомендаціями, сорт найкраще підходить для вирощування в зоні Полісся. Рекомендована передзбиральна густина стояння рослин у зоні Степу становить 60–65 тис. шт./га, Лісостепу – 80–85 тис. шт./га, Полісся – 90–100 тис. шт./га.

Висновки до розділу 6:

У роботі наведено комплексну агрономічну оцінку ранньостиглих гібридів кукурудзи «ДН Буча» та «ДН Явір», які офіційно зареєстровані та дозволені для вирощування на території України. Для вказаних генотипів описано ключові показники потенційної продуктивності та сформульовано агротехнічні вказівки щодо оптимальної густоти сівби.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено важливе наукове завдання, що полягає у теоретичному обґрунтуванні та практичному вирішенні проблеми створення, комплексного оцінювання та селекційного використання скоростиглих інбредних ліній кукурудзи південного екотипу. Встановлено закономірності формування господарсько цінних ознак, визначено селекційну цінність нового вихідного матеріалу та обґрунтовано ефективні гетерозисні моделі для створення конкурентоспроможних ранньостиглих гібридів, адаптованих до умов Степу України.

За результатами проведених досліджень сформульовано наступні висновки:

1. На основі комплексного селекційного оцінювання скоростиглих самозапилених сімей кукурудзи поколінь S_4 – S_6 , створених із використанням змішаної геноплазми, встановлено високий рівень їх генетичного та фенотипового різноманіття. Сформовано колекцію нових константних інбредних ліній із цінним комплексом господарсько-біологічних ознак, що є перспективним вихідним матеріалом для селекції скоростиглих гібридів кукурудзи.

2. Доведено визначальну роль гідротермічних умов років досліджень у формуванні морфобіологічних та господарсько цінних ознак скоростиглих інбредних сімей і тесткросів. Встановлено, що зміни температурного режиму та вологозабезпечення істотно впливають на тривалість міжфазного періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів», висоту рослин, висоту прикріплення качана, рівень урожайності та збиральну вологість зерна, що підтверджує необхідність багаторічної оцінки селекційного матеріалу в контрастних умовах середовища.

3. За результатами добору виділено скоростиглий свмозапильний вихідний матеріал покоління S_6 (ДК2815 × ДК315, ДК2815 × ДК3152, ДК2835 × ДК247МВ та ДК3152 × ДК285/315), у яких тривалість періоду

«сходи – цвітіння 50% качанів» була на 7 – 10 діб меншою порівняно з лінією стандартом ДК315 СВЗМ.

4. Серед 302 самозапилених сімей кукурудзи покоління S_6 висота рослин була в середньому на 5–21 см. меншою порівняно зі стандартною лінією ДК315 СВЗМ. Виділено сім'ї, отримані від гібридних комбінацій ДК3152 $\times$ ДК247МВ та ДК2835 $\times$ ДК3152, які в умовах екстремально високих температур 2025 року забезпечили стабільний прояв досліджуваних ознак, що свідчить про їх високу адаптивність до стресових умов вирощування.

5. Встановлено значний вплив гідротермічних умов років вегетації на висоту прикріплення качана у самозапилених сімей кукурудзи поколінь S_4 – S_6 . У стресових умовах 2025 року середня висота прикріплення качана у сімей S_6 становила близько 31 см., тоді як у більш сприятливому 2023 році у сімей S_4 – близько 78 см. Виділено сім'ю ДК3152 $\times$ ДК285/315 (S_6), у якої висота прикріплення качана на 4 см перевищувала показник стандартної лінії ДК315 СВЗМ, що відповідає вимогам механізованого збирання.

6. Досліджено закономірності формування продуктивності скоростиглих інбредних ліній кукурудзи змішаної геноплазми. Визначено, що найбільший вплив на продуктивність мають маса 1000 зерен ($r = 0,726$), довжина качана ($r = 0,604$) та кількість зерен у ряду ($r = 0,557$). Методами багатофакторного аналізу доведено, що статистично значущими незалежними предикторами продуктивності є довжина ($p = 0,03$) та діаметр качана ($p < 0,001$), які можуть бути використані як ефективні критерії раннього добору перспективного селекційного матеріалу.

7. Аналіз комбінаційної здатності показав, що найвищі ефекти специфічної комбінаційної здатності встановлено у самозапилених сімей, отриманих від сестринських гібридних комбінацій ДК2815 $\times$ ДК247МВ (0,141), ДК2835 $\times$ ДК247МВ (0,134) та ДК2815 $\times$ ДК315 (0,106). Поєднання високих ефектів загальної та специфічної комбінаційної здатності вказує на доцільність використання цих сімей як цінного вихідного матеріалу при

формуванні перспективних гетерозисних моделей ранньостиглих гібридів кукурудзи.

8. За результатами комплексної оцінки тесткросів виділено ранньостиглі гібридні комбінації ДК2239 × (ДК2815 × ДК247МВ) 16121, (ДК4315М × ДК4404) × (ДК2835 × ДК3152) 12212 та (ДК2965С × ДК2329) × (ДК2835 × ДК247МВ) 3111, у яких тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» була на 2–3 доби меншою порівняно зі стандартом ДБ Хотин. Виділені комбінації поєднували скоростиглість із високим рівнем господарсько-цінних ознак і становлять практичний інтерес для подальшої селекції.

9. Встановлено, що 25,1 % досліджених тесткросів перевищували стандартний гібрид ДБ Хотин (1,92 т/га). за рівнем урожайності зерна. Найвищу продуктивність сформували комбінації ДК2239 × (ДК2815 × ДК3152) 11113 (2,8 т/га), (ДК2965С × ДК2329) × (ДК2815 × ДК247МВ) 22132 (2,9 т/га) та (ДК4315М × ДК4404) × (ДК2815 × ДК247МВ) 31221 (3,0 т/га), які є преспективними для подальшого впровадження в виробництво.

10. Практичну цінність проведених досліджень підтверджено створенням за участю автора гібридів кукурудзи ДН Буча та ДН Явір, занесених до Державного реєстру сортів рослин, придатних до поширення в Україні. Крім того, створено батьківські компоненти Крос 252 М та ДК3252СВЗМ, які проходять кваліфікаційну експертизу в Українському інституті експертизи сортів рослин, що підтверджує ефективність використання розроблених селекційних підходів у практичній селекції кукурудзи.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ СЕЛЕКЦІЙНОЇ ПРАКТИКИ ТА ВИРОБНИЦТВА

1. Для створення нового вихідного матеріалу та селекції середньоранніх і середньостиглих гібридів кукурудзи доцільно використовувати такі лінії: (ДК2815 × ДК247МВ)₁₂₂₁₁; (ДК2815 × ДК247МВ)₂₂₃₂₁; (ДК2815 × ДК315)₃₁₁₃₃; (ДК2815 × ДК315)₃₁₁₁₃; (ДК2815 × ДК3152)₁₁₁₁₃; (ДК2815 × ДК3152)₂₃₁₂₃; (ДК3152 × ДК247МВ)₁₄₂₁₁; (ДК3152 × ДК247МВ)₂₁₁₂₁; (ДК2835 × ДК247МВ)₃₁₁₁₂; (ДК2835 × ДК247МВ)₁₄₁₂₂; (ДК2835 × ДК3152)₁₁₂₁₃; (ДК2835 × ДК3152)₁₁₂₂₁.

2. При оцінюванні та доборі високопродуктивних самозапиленних ліній кукурудзи доцільно використовувати довжину і діаметр качана як незалежні селекційні критерії, статистично значущий вплив яких на продуктивність підтверджено результатами регресійного аналізу ($p = 0,03$ та $p < 0,001$ відповідно).

3. Для розширення та оптимізації сортового складу кукурудзи в різних ґрунтово-кліматичних зонах України рекомендується для впровадження у виробництво ранньостиглі гібриди ДН Буча та ДН Явір (створених за участю автора та занесених до Державного реєстру сортів рослин). Зазначені гібриди характеризуються високою адаптивністю та забезпечують приріст урожайності зерна 0,47–2,63 т/га порівняно зі стандартними гібридами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Рослинництво України за 2023 рік: статистична інформація. Державна служба статистики України. URL: <https://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 24.05.2024).
2. Каліка С. І. Продуктивність гібридів кукурудзи за різних технологій вирощування в Західному Лісостепу України. Тернопіль. 2021. 6 с.
3. Томашук І. В. Вплив агропромислової інтеграції на підвищення ефективності виробництва та переробки сільськогосподарської продукції. Управління змінами та інновації. 2023. № 5. С. 33–43.
4. Калетнік Г. М., та ін. Перспективи використання кукурудзи для енергоефективного та екологічнобезпечного розвитку сільських територій: монографія. Вінниця: ФОП Кушнір Ю. В., 2021. 260 с.
5. Бомко В. С., Сиваченко Є. В., Сметаніна О. В. Корми і кормові добавки та ефективність їх використання в годівлі тварин : навч. посібник. Біла Церква, 2023. 225 с.
6. Рубчинський А. С. Основні напрямки переробки зерна кукурудзи в Україні. Національний університет харчових технологій. Київ. 2014. 245 с.
7. Шаповаленко О. І., Рибчинський Р. С., Кустов І. О. Технологічна характеристика зерна кукурудзи. Наукові праці: Одеської національної академії харчових технологій. 2019. Т. 83, вип. 2. С. 12–18.
8. Сидякіна О. В., Іванів О. О. Сучасний стан і перспективи виробництва зерна кукурудзи. Таврійський науковий вісник. 2023. Вип. 130. С. 225–234.
9. Фомішина В. М., та ін. Дослідження кон'юнктури світового ринку кукурудзи та визначення місця України на ньому. Вісник ЛТЕУ. Економічні науки. 2022. Вип. 66. С. 22–28.
10. Troyer A. F., Mark A. M. Minnesota corn breeding history: Department of agronomy & plant genetics centennial. Crop science. 2010. № 50.4 P. 1141–1150.
11. Tollenaar M., Lee E. A. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. Field Crops Research. 2016. Vol. 192. P. 150–156.

12. He B., et al. Maize improvement based on modern breeding strategies: progress and perspective. *ACS Agricultural Science & Technology*. 2024. Vol. 4, № 3. P. 274–282.
13. Васютин Н. І. Стан та перспективи розвитку ринку кукурудзи на зерно в Україні. *Вісник СНТ ННІ бізнесу і менеджменту ХНТУСГ*. 2016. Вип. 3, № 1. С. 18–20.
14. Сидякіна О. В., Гамула Є. А. Сучасний стан, проблеми та перспективи виробництва зерна кукурудзи. *Таврійський науковий вісник*. 2025. № 144. С. 164–174.
15. Седіков Д. В., Седікова І. О. Стратегічні орієнтири розвитку зернового ринку України в повоєнний період. *Економіка харчової промисловості*. 2023. Т. 15, вип. 4. С. 31–35.
16. Томашина Г. П. Особливості інноваційного розвитку аграрного сектору Центрального регіону України. *Науково-інноваційний розвиток агровиробництва як запорука продовольчої безпеки України: вчора, сьогодні, завтра : матеріали VI Всеукр. наук.–практ. конф. м. Київ, 2023*. С. 86–89.
17. Григорів Я. Я., Турак Ю. О. Особливості вирощування кукурудзи в сучасних умовах (оглядова). *Таврійський науковий вісник. Серія: Землеробство, рослинництво, овочівництво та баштанництво*. 2024. № 137. С. 70–76.
18. Chiotti Q. P., Johnston T. Extending the boundaries of climate change research: A discussion on agriculture. *Journal of Rural Studies*. 1995. Vol. 11, No. 3. P. 335–350..
19. Адаптація агротехнологій до змін клімату: ґрунтово-агрохімічні аспекти: колективна монографія. за ред. С. А. Балюка, В. В. Медведєва, Б. С. Носка. Харків: Стильна типографія, 2018. 364 с.
20. Prasanna B. M., et al. Beat the stress: breeding for climate resilience in maize for the tropical rainfed environments. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021. Vol. 134, Iss. 6. P. 1729–1752.

21. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Селекція гібридів кукурудзи, стійких до екстремальних умов вирощування. Бюлетень Інституту зернового господарства. Дніпропетровськ, 2007. № 31–32. С. 3–11
22. Черчель В. Ю. Селекція скоростиглих гібридів кукурудзи, адаптованих до різних природо-кліматичних зон України: автореф. дис. ... доктора с.-г. наук: 06.01.05. Харків, 2018. 66 с.
23. Селекція скоростиглої кукурудзи: сучасний стан, досягнення, завдання та напрямки. Освіта.UA. 2020. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/biolog/26262/> (дата звернення: 15.02.2026).
24. Вологість зерна кукурудзи під час збирання: формування та облік. Пропозиція: веб-сайт. 2024. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnohohiyi-vyroshchuvannya/volohist-zerna-kukurudzy-pid-chas-zbyrannya-formuvannya-oblik> (дата звернення: 15.02.2026).
25. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Гайдаш О. Л. Оцінка нового скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи за ознакою «збиральна вологість зерна». Бюлетень інституту сільського господарства степової зони НААН України. Дніпро, 2016. № 10. С. 10–15.
26. Varshney R. K., et al. Achievements and prospects of genomics-assisted breeding in three legume crops of the semi-arid tropics. *Biotechnology Advances*. 2013. Vol. 31, Iss. 8. P. 1120–1134.
27. Crossa J., et al. Genomic selection in plant breeding: methods, models, and perspectives. *Trends in Plant Science*. 2017. Vol. 22, Iss. 11. P. 961–975.
28. Рябченко Е. М. Створення самозапилених ліній кукурудзи плазми Ланкастер з використанням методу гаплоїдії : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Інститут зернових культур НААН України. Дніпро, 2016. 195 с.
29. Yang G., et al. Unmanned aerial vehicle remote sensing for field-based crop phenotyping: current status and perspectives. *Frontiers in plant science*. 2017. Vol. 8. P. 1111.

30. Technow F., Messina C. D., Totir L. R., Cooper M. Integrating Crop Growth Models with Whole Genome Prediction through Approximate Bayesian Computation. PLoS ONE. 2015. Vol. 10, No. 6. Art. e0130855.
31. Messina C. D., et al. Leveraging biological insight and environmental variation to improve phenotypic prediction: Integrating crop growth models (CGM) with whole genome prediction (WGP). European Journal of Agronomy. 2018. Vol. 100. P. 151–162.
32. Cooper M., et al. Use of crop growth models with whole-genome prediction: application to a maize multienvironment trial. Crop Science. 2016. Vol. 56, № 5. P. 2141–2156.
33. Купар Ю. Ю. Ідентифікація генетичного походження селекційного матеріалу кукурудзи при гетерозисній селекції: дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Інститут зернових культур НААН України. Дніпро, 2021. 185 с.
34. White M. R., et al. Diversity and heterotic patterns in North American proprietary dent maize germplasm. Crop Science. 2020. Vol. 60, No. 1. P. 100–114.
35. Спряжка Р. О., Жемойда В. Л. Ступінь та характер ефектів гетерозису ліній кукурудзи за показниками якості зерна. Генетичні ресурси рослин. 2022. № 30. С. 76–87.
36. Черчель В. Ю., Дзюбецький Б. В., Борисова В. В., Баженова О. С. Оцінка різних типів гібридів кукурудзи за генетичними дистанціями та ступенем гетерозису. Вісник аграрної науки. 2013. № 8. С. 33–37.
37. Гайдаш О. Л. Селекція вихідного матеріалу змішаної зародкової плазми для синтезу скоростиглих гібридів кукурудзи : дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.05. Інститут зернового господарства УААН. Дніпро, 2019. 230 с.
38. Черчель В. Ю., Купар Ю. Ю., Таганцова М. М., Стасів О. Ф. The results of divergence of early-maturing maize source material in heterosis breeding.. Plant Varieties Studying and Protection. 2020. Vol. 16, № 4. P. 378 – 386.
39. Черчель В. Ю., Гайдаш О. Л. Комбінаційна цінність самозапилених сімей S5 кукурудзи (*Zea mays* L.) змішаної зародкової плазми. Роль наукових

- досліджень в забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва України : матеріали Всеукр. наук.– практ. конф. молодих вчених і спеціалістів (м. Дніпропетровськ, 25–26 травня 2016 р.). Дніпропетровськ, 2016. С. 39–40.
40. Ortiz D., et al. Biofortified orange corn increases xanthophyll density and yolk pigmentation in egg yolks from laying hens. *Poultry Science*. 2021. Vol. 100, Iss. 7. Art. 101117.
 41. Kljak K., et al. Commercial corn hybrids as a single source of dietary carotenoids: Effect on egg yolk carotenoid profile and pigmentation. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, Iss. 21. Art. 12287.
 42. Гелету́ха Г. Г., Желєзна Т. А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні. Аналітична записка БАУ. 2014. № 7. 33 с.
 43. Ranum P., Peña-Rosas J. P., Garcia-Casal M. N. Global maize production, utilization, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014. Vol. 1312, Iss. 1. P. 105–112.
 44. Використання кукурудзи. Yara. URL: <https://www.yara.ua/crop-nutrition/maize/key-facts/maize-markets/> (дата звернення: 19.03.2026).
 45. Перспективи розвитку біоетанолу в Україні. Міністерство аграрної політики та продовольства в Україні. 2020 URL: http://saee.gov.ua/sites/default/files/Schulmeister_bioethanol_1.pdf. (дата звернення: 08.01.2025).
 46. Мазур В. А., Шевченко Н. В., Яковець Л. А. Агро–біологічні особливості вирощування гібридів кукурудзи для виробництва біоетанолу в умовах Лісостепу правобережного. Монографія. Вінниця: Видавництво ТОВ "Друк". 2023. 28 с.
 47. Ринок біоетанолу в Україні: аналітичний огляд 2023 року. Біоенергетична асоціація України. Київ : БАУ, 2023. 28 с. URL: <https://uabio.org> (дата звернення: 24.02.2026).

48. Рослинництво з основами кормовиробництва та агрометеорології. Частина 1: підручник. С.М. Каленська, М.Я. Дмитришак, В.А. Мокрієнко та ін. – Київ: Прінтеко, 2023. С 195–199.
49. Erenstein O., et al. Global maize production, consumption and trade: trends and R&D implications. *Food Security*. 2022. Vol. 14, Iss. 5. P. 1295–1319.
50. Коваль А. С. Економічні аспекти розподілу сільськогосподарських ресурсів між продовольчим і біоенергетичним секторами. *Інвестиції: практика та досвід*. 2025. № 2. С. 237–243.
51. Денисюк К. В. Біотехнологічні підходи до підвищення вмісту beta-каротину у зерні кукурудзи. Актуальні питання біотехнології, екології та природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції (м. Харків, 14–15 травня 2025 р.). Харків, 2025. С. 67–68.
52. Мазур В. А., Шевченко Н. В. Вплив технологічних прийомів вирощування на формування якісних показників зерна кукурудзи. *Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Сільське господарство та лісівництво*. 2017. № 6. Т. 1. С. 7–13.
53. Кравець Т. Технології виробництва хліба для людей з целиакією та глютенною непереносимістю. *Тренди гастрономії: від харчових технологій до ресторанних інновацій. Виклики та можливості: матеріали V Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Тернопіль, 30 квітня 2025 р.)*. Тернопіль, 2025. С. 75–76.
54. Лупенко Ю. Перспективи розвитку переробки сільськогосподарської продукції у повоєнній Україні. *Доповідь на сесії Загальних зборів НААН*. 2024. 12 с.
55. Синицина Г. А., Филипенко О. М. Формування сучасної теорії харчування в контексті продовольчої безпеки. *Бізнес Інформ*. 2021. № 11. С. 217–226.
56. Паламарчук В. Д., та ін. Аспекти сучасної технології вирощування висококрохмальної кукурудзи в умовах Лісостепу Правобережного: монографія. Вінниця : Друк, 2020. 536 с.

57. Паламарчук В. Д., Віннік О. В., Коваленко О. А. Вміст крохмалю у зерні кукурудзи та вихід біостанолу залежно від умов вегетації та факторів технології вирощування. Аграрні інновації. 2021. № 5. С. 143–156.
58. Технологія хліба пшеничного з продуктами переробки зародків вівса та кукурудзи : монографія. С. Г. Олійник, Г. В. Степанькова, О. В. Самохвалова, О. І. Кравченко. Харків : ХДУХТ, 2017. 123 с.
59. Araus J. L., Kefauver S. C. Breeding to adapt agriculture to climate change: affordable phenotyping solutions. *Current Opinion in Plant Biology*. 2018. Vol. 45. P. 237–247.
60. Васильківський С. П., Кочмарський В. С. Селекція і насінництво польових культур. Підручник. Біла Церква, 2016. 376 с.
61. Кириченко В. В., Гур'єва І. А., Кузьмишина Н. В., Рябчун В. К., Чернобай Л. М. Інтенсифікація використання генофонду кукурудзи в гетерозисній селекції. Монографія. НААН Інститут рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Харків. 2019. 330с.
62. Пикало С. В., Юрченко Т. В., Пірич А. В., Куманська Ю. О. Методичні підходи до комплексного оцінювання генотипів зернових культур в умовах *in vitro* та *in vivo*. Екологічні науки. 2026. № 1, 64. С. 14–19.
63. Чернуський В. В., Чернуська Т. А. Принципи і методологія апроксимації експериментальних даних відповідно до концепції комплексної селекції традиційних культур Полісся на продуктивність і адаптивність. Агропромислове виробництво Полісся. 2015. № 8. С. 28–35.
64. Спеціальна селекція і насінництво польових культур : навч. посіб. за ред. В. В. Кириченка. Харків : ІРСГ імені В. Ю. Юр'єва НААН, 2010. 462 с.
65. Білий Р. В., Трач І. В., Григор'єв В. М., Козирський Д. В. Інсектицидний контроль фітофагів у період вегетації кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України. Аграрні інновації. 2025. № 33. С. 30–34.
66. Фундаментальні основи біотехнологічного забезпечення селекційного процесу у кукурудзи на основі використання функціональних молекулярно-генетичних маркерів : науково-методичні рекомендації.

- К. В. Денисюк, Б. В. Дзюбецький, В. Ю. Черчель, Н. А. Боденко. Дніпро: ДУ Інститут зернових культур НААН, 2025. 40 с.
67. Литвиненко М. А. Біотехнологічні і молекулярно-генетичні методи у селекції сільськогосподарських культур в Україні. Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення. 2015. № 25. С. 195–203.
 68. Henkrar F., Udupa S. Marker assisted selection in plant breeding. *Crop Production and Environment Mon. J. Agri. Sci.* 2020. Vol. 1, № 5. P. 237–247.
 69. Букреєва Н. І., Белоусов А. О., Волкова Н. Е. Використання молекулярних маркерів у дослідженні гетерозису кукурудзи. Селекційно-генетична наука і освіта: матеріали міжнародної наукової конференції, присвяченої світлій пам'яті Федора Микитовича Парія (м. Умань, 16–18 березня 2016 р.). Умань, 2016. С. 46–49.
 70. Сатарова Т. М. та ін. Поширеність алелів гена β -каротингідроксилази 1 в сучасному генофонді *Zea mays* L. *Цитологія і генетика*. 2023. Т. 57, № 1. С. 44–54.
 71. Присяжнюк Л. М., Черній С. О., Таганцова М. М., Ткачик С. О. Застосування SSR маркерів для оцінювання поліморфізму кукурудзи (*Zea mays* L.) в експертизі на відмінність, однорідність, стабільність. *Фізіологія рослин і генетика*. 2019. Т. 51. № 6. С. 529–540.
 72. Bernardo R. N. *Breeding for Quantitative Traits in Plants*. 3rd ed. Woodbury : Stemma Press, 2020. 422 p.
 73. Черчель В. Ю., Борисова В. В., Сатарова Т. М. Використання SNP-аналізу для характеристики генетичної структури селекційного матеріалу кукурудзи і сорго. *Фактори експериментальної еволюції організмів*. 2014. Т. 15. С. 255–259.
 74. Amadu M. K., et al. Genome-wide association mapping and genomic prediction analyses reveal the genetic architecture of grain yield and agronomic traits under drought and optimum conditions in maize. *BMC Plant Biology*. 2025. Vol. 25, № 1. Art. 135.

75. Букреєва Н. І., Белоусов А. О., Сиволап Ю. М. SSR-маркування QTL ознаки урожайність зерна у кукурудзи. Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення. 2014. № 23. С. 18–26.
76. Букреєва Н. І., Доменюк В. П., Белоусов А. О., Соколов В. М., Сиволап Ю. М. Молекулярні маркери в прогнозуванні гетерозису у кукурудзи. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2014. Т. 15. С. 156–160.
77. Сорока Д. С., Соколова І. Є., Гаврилюк В. Г., Скляр Т. В. CRISPR/Cas-адаптивна імунна система у бактерій та перспективи її застосування у редагуванні геномів. Вісник проблем біології і медицини. 2019. № 2. 1. С. 46–50.
78. Chen K., Wang Y., Zhang R. et al. CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. *Annual Review of Plant Biology*. 2019. Vol. 70. P. 667–697.
79. Сорочинський Б. В. Регулювання в Європейському Союзі сортів рослин, що отримані з використанням нових технологій селекції. Сортівивчення та охорона прав на сорти рослин. 2019. Т. 15, № 1. С. 32–42.
80. Волкова Н. Е., Соколов В. М. Технологія генотипування KASPTM та її використання в генетико-селекційних програмах (на прикладі кукурудзи). Сортівивчення та охорона прав на сорти рослин. 2017. № 2 (13). С. 131–140.
81. Kaur H., et al. Protocol optimization and assessment of genotypic response for inbred line development through doubled haploid production in maize. *BMC Plant Biology*. 2023. Vol. 23, № 1. Art. 219.
82. Maqbool M. A., Beshir A., Khokhar E. S. Doubled haploids in maize: Development, deployment, and challenges. *Crop Science*. 2020. Vol. 60, №. 6. P. 2815–2840.
83. Reynolds D., et al. What is cost-efficient phenotyping? Optimizing costs for different scenarios. *Plant Science*. 2019. Vol. 282. P. 14–22.

84. Adak A., et al. Field-based high-throughput phenotyping enhances phenomic and genomic predictions for grain yield and plant height across years in maize. *G3: Genes, Genomes, Genetics*. 2024. Vol. 14, № 7. P. 14.
85. Puczel B. Maize breeding for enhanced adaptability to climate change in Europe. *Сільське господарство та лісівництво. Селекція, насінництво та сортознавство*. 2026. № 40. С. 128–140.
86. Шевніков М., Власенко Д. Раціоналізація процесів у технології вирощування гібридів кукурудзи: управлінський аспект. *Scientific Progress & Innovations*. 2025. Т. 28. № 2. С. 44–50.
87. Паламарчук М. М. Високоякісне насіння – важлива складова підвищення конкурентоспроможності вітчизняного зерна кукурудзи. *Ефективна економіка*. 2014. № 7. С. 1–5.
88. Гайдаш О. Л., Негода Т. В. Селекційно-генетичне значення нового вихідного матеріалу для селекції кукурудзи звичайної (*Zea mays* L.). *Universities and schools: methods of distance learning : the 25th International scientific and practical conference (June 25–28, 2024, Boston, USA)*. Boston : International Science Group, 2024. P. 11–13.
89. Моргун В. В., Рибалка О. І., Дубровна О. В. Генетичне поліпшення рослин: основні наукові досягнення та інноваційні розробки. *Фізіологія рослин і генетика*. 2021. Т. 53. № 2. С. 112–127.
90. Беліков Є. І., Купріченкова Т. Г. Вивчення врожайності ранньостиглих гібридів кукурудзи різних гетерозисних моделей в умовах степової зони України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2015. №9. С. 58–62.
91. Черчель В. Ю., Гайдаш О. Л. Оцінка адаптивної здатності та екологічної стабільності скоростиглих гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) в контрастних умовах випробування. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2016. Vol. 6, No. 3. С. 18–25.
92. Черчель В., Гайдаш О., Таганцова М. Морфобіологічна характеристика ліній кукурудзи змішаної плазми в умовах Степу України. *Бюлетень*

- Інституту сільського господарства степової зони НААН України № 8. 2015. С. 99–104.
93. Заплітний Я. Д., та ін. Кластерний аналіз інбредних ліній кукурудзи альтернативних геноплазм за основними селекційними ознаками. Зрошуване землеробство. 2017. Вип. 67. С. 116–120.
 94. Дзюбецький Б. В., Боденко Н. А., Заплітний Я. Д. Основні господарсько-цінні ознаки тесткросів кукурудзи різних гетерозисних моделей в умовах західного лісостепу України. Зрошуване землеробство. 2013. Вип. 59. С. 139–141.
 95. Плотка В.В. Селекція ранньостиглих холодостійких гібридів кукурудзи на базі кременистих інбредних ліній: дис. на здобуття ступеня канд. с.-г. наук: 06.01.05. Дніпро. 2017. 155 с.
 96. Січняк О. Л. Генетика з основами селекції рослин : навч. посіб. Одеса : Одес. нац. Ун–т ім. І. І. Мечникова, 2022. 190 с.
 97. Acquaah G. Principles of plant genetics and breeding. 3rd ed. Hoboken : Wiley-Blackwell, 2020. 848 p.
 98. Спеціальна селекція польових культур: Навчальний посібник. В. Д. Бугайов, С. П. Васильківський, В. А. Власенко та ін.; за ред. М. Я. Молоцького. – Біла Церква, 2010. С. 120–146.
 99. Капустян М. В. Селекційна цінність інбредних ліній кукурудзи, створених на основі різноманітного вихідного матеріалу: дис. на здобуття ступеня канд. с.–г. наук: 06.01.05. Харків. 2021. 196 с.
 100. Капустян М. В. Оцінка нових самозапилених ліній кукурудзи, створених на базі різних генетичних плазм за продуктивністю та її складовими. Генетичні ресурси рослин. 2015. № 16. С. 64–75.
 101. Мазур О. В. Лозінський М. В. Селекція та насінництво польових культур: навчальний посібник. Вінниця : ТВОРИ, 2020. 348 с.
 102. Фіщук О. С., Андреева В. В. Генетика і селекція рослин : конспект лекцій. Луцьк, 2017. 174 с.

103. Федько М. М. Густота стояння рослин як фон для добору та її вплив на елементи структури врожаю у інбредних ліній кукурудзи (*Zea mays* L.). Зрошуване землеробство. 2013. Вип. 60. С. 97–101.
104. Опалко А. І., Опалко О. А. Біотичне різноманіття як основа життєздатності рослинних популяцій. *Journal of Native and Alien Plant Studies*. 2019. Т. 15. С. 77–98.
105. Hallauer A. L., Carena M. J., Miranda Filho J. B. *Quantitative Genetics in Maize Breeding*. New York : Springer, 2010. 664 p.
106. Міщенко С. В. Прояв репродуктивної депресії у самозапилених ліній *Cannabis sativa* L. в онтогенезі. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агрономія і біологія. 2014. № 3. С. 205–208.
245107. Студінська Г. Я., Студінський В. А. Еволюція інноваційного розвитку аграрної сфери. Формування ринкових відносин в Україні. 2025. № 1. Вип. 284. С. 45–56.
108. Лебідь Є. М., Іваненко П. І. Соколов Б. П. Енциклопедія Сучасної України: електронна версія. онлайн. Київ : Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2025. URL: <https://esu.com.ua/article-888618> (дата звернення: 15.02.2026).
109. Дзюбецький Б. В., Федько М. М., Ільченко Л. А., Чабан В. І. Роль зародкових плазм та гетерозисної моделі при створенні гібридів кукурудзи спеціального призначення. Зрошуване землеробство. 2016. Вип. 65. С. 138–141.
110. Дзюбецький Б. В., Боденко Н. А., Бондарь Т. М. Використання генетичної плазми кукурудзи Айодент у селекції вихідного матеріалу. Вісник аграрної науки. 2013. № 9. С. 32–35.
111. Черчель В. Ю., Боденко Н. А., Плотка В. В., Негода Т. В. Оцінка кременистих ранньостиглих гібридів кукурудзи як вихідного матеріалу для створення нових самозапилених ліній. Зрошуване землеробство. 2014. № 62. С. 100–103.

112. Hayes H. K. Present day problems of corn breeding. Amer. Soc. Argon. 1936. V. 18. P. 344–363.
113. Jones D. F., Singleton W. R. Crossed sweet corn. Conn. Agr. Expt. Stat. Bull. 1934. № 361. P. 489–36.
114. Mikel M. A. Genetic diversity and improvement of contemporary proprietary North American dent corn. Crop Science. 2008. V. 48. № 4. 1686–1695.
115. Рябовол Я. С. Теоретичне обґрунтування систем гібридизації і створення вихідного матеріалу в селекції зернових культур : дис. ... д-ра с.-г. наук : 06.01.05. Умань, 2020. 185 с.
116. Jenkins M. T. Corn improvement. Yearbook of agriculture. USDA, Washington, DC., 1936. P. 455–522.
117. Китайова С. С., Кириченко В. В., Чернобай Л. М. Використання маркерних систем в селекції високогетерозисних гібридів кукурудзи. Селекція і насінництво. 2014. № 105. С. 23–31.
118. Макачук М. О. Удосконалення методів отримання гетерозисного гібридного насіння кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу. Наукові, методологічні та практичні підходи до проблем сучасної агрономії : монографія. Умань : Середняк Т. К., 2021. С. 155–158.
119. Патика В. П., Пасічник Л. А., Буценко Л. М. Бактеріальні хвороби зернових культур та заходи боротьби з ними. Посібник українського хлібороба. 2013. № 1. С. 202–208.
120. Черчель В. Ю., Гайдаш О. Л. Селекція скоростиглих гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) на базі змішаної зародкової плазми. Зернові культури. 2017. Т. 1, № 1. С. 10–16.
121. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Урожайність зерна скоростиглих гібридів кукурудзи різних сортозмін. Вісник аграрної науки. 2017. № 8. 19–23 с.
122. Деркач К. В. Біотехнологічна характеристика генотипів кукурудзи зародкової плазми Ланкастер : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.20. Дніпро, 2018. 161 с.

123. Купріченков Д. С. Генетичні ресурси кукурудзи (*Zea mays* L.) та їх значення для підтримки біорізноманіття та стійкості популяцій : наук. праця. Вінниця : ВНАУ, 2024. 117 с.
124. Бондарь Т. М. Створення та добір вихідного матеріалу плазми Айодент при селекції середньостиглих і середньопізніх гібридів кукурудзи : дис. канд. с.-г. наук : 06.01.05 НААН України, ДУ «Ін-т сіл. госп-ва степової зони». Дніпропетровськ, 2015. 191 с.
125. Smith J. S., Trevisan W., McCunn A., Huffman W. E. Global dependence on Corn Belt Dent maize germplasm: Challenges and opportunities. *Crop Science*. 2022. Vol. 62, № 6. P. 2039–2066.
126. Ольховик М. С., Гайдаш О. Л., Купар Ю. Ю., Таганцова М. М. Оцінка ліній найбільш поширених геноплазм за основними господарсько-цінними ознаками. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2021. Т. 17, № 2. С. 137–144.
127. Дзюбецький Б. В., Федько М. М., Заплітний Я. Д. Адаптивна здатність та екологічна стабільність тесткросів кукурудзи альтернативних геноплазм в умовах західного лісостепу України. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2013. № 4. С. 61–64.
128. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Марочко В. А. Формування ознаки «вологість» у скоростиглих гібридів кукурудзи. *Вісник аграрної науки*. 2013. № 1. С. 41–44.
129. Shull G. H. The composition of a field of maize. *Journal of Heredity*. 1908. Vol. 4. P. 296–301.
130. Пащенко Н. О., Лобко Т. К. Система насінництва та основні принципи добору гібридів кукурудзи. *Аграрні інновації*. 2023. № 19. С. 180–184.
131. Заплітний Я. Д. Комбінаційна здатність ліній кукурудзи зародкових плазм Айодент, Лаукон та Змішана за основними селекційними ознаками в умовах Західного Лісостепу. *Селекція і насінництво*. 2011. Вип. 100. С. 88–95.

132. Івахненко О. М. Комбінаційна здатність ліній кукурудзи гетерозисної групи «Айодент» та її використання при створенні гібридів : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Дніпропетровськ, 2015. 191 с.
133. Овсяннікова Н. С., Чупіков М. М., Барсуков І. П. Комбінаційна здатність нових самозапиленних ліній кукурудзи. Селекція і насінництво. №98. 2010. 38–45 с.
134. Федько М. М. Селекція середньопізніх (FAO > 400) гібридів кукурудзи (*Zea mays* L.) на високу адаптивну здатність та екологічну стабільність. Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України. 2013. № 5. С. 26–30.
135. Деркач К. В., та ін. Ідентифікація ліній кукурудзи плазми Ланкастер серед інших типів зародкової плазми за результатами SNP-аналізу. Фактори експериментальної еволюції організмів. 2017. Т. 20. С. 58–63.
136. Марченко Т. Ю., Лавриненко Ю. О., Тищенко А. В., Забара П. П. Прояв і мінливість біометричних ознак у ліній–батьківських компонентів та гібридів кукурудзи за використання різних генетичних плазм при зрошенні. Наукові доповіді НУБІП України. 2020. № 3. С. 85.
137. Hochholdinger F., Yu P. Molecular concepts to explain heterosis in crops. Trends in Plant Science. 2025. Vol. 30, № 1. P. 95–104.
138. Дзюбецький Б. В., Бондар Т. М. Комбінаційна здатність сімей S3–S5, отриманих на базі подвійних сестринських гібридів кукурудзи генетичної плазми Айодент. Селекція і насінництво. 2014. № 105. С. 16–22.
139. Єфіменко Т. С., Терновська Т. К. Генетичний контроль формування архітектури кореневої системи рослин та її зв'язок із зимостійкістю. Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. 2015. Т. 13, № 1. С. 98–109.
140. Волкова Н. Е., Сліщук Г. І. Роль кореневої системи в посухотолерантності кукурудзи: анатомічні, фізіологічні, молекулярно-генетичні аспекти. Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. 2016. Т. 14, № 2. С. 245–253.

141. Купріченков Д. С. Комбінаційна здатність нових ліній розлусної кукурудзи (*Zea mays everta* Sturt.). Аграрні інновації. 2023. Вип. 19. С. 151–158.
142. Коцюба С. П. Характер мінливості інбредних ліній кукурудзи в умовах Правобережного Лісостепу України. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2020. Вип. 96, ч. 1. С. 394–405.
143. Олешко О. Г. Ідентифікація самозапилених ліній кукурудзи, створених на базі різних генетичних плазм : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Дніпропетровськ, 2007. 141 с.
144. Гайдаш О. Л. Оцінка комбінаційної здатності за врожайністю зерна самозапилених сімей S5 кукурудзи (*Zea mays* L.) змішаної зародкової плазми. Сортовивчення та охорона прав на сорти рослин. 2016. № 1. С. 62–66.
145. Ledesma A., Ribeiro F. A. S., Uberti A., Edwards J., Hearne S., Frei U., Lübberstedt T. Molecular characterization of doubled haploid lines derived from different cycles of the Iowa Stiff Stalk Synthetic (BSSS) maize population. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. 1226072.
146. Munaiz E. D., Albrecht K. A., Ordas B. Genetic diversity for dual use maize: grain and second-generation biofuel. *Agronomy*. 2021. Vol. 11, № 2. Art. 230.
147. Ledesma A., Santana A. S., Sales Ribeiro F. A., Aguilar F. S., Edwards J., Frei U., Lübberstedt T. Genome-wide association analysis of plant architecture traits using doubled haploid lines derived from different cycles of the Iowa Stiff Stalk Synthetic maize population. *Frontiers in Plant Science*. 2023. Vol. 14. Art. 1294507.
148. Cooper M., Ghosh C., Leafgren R., Tang T.. Breeding drought-tolerant maize hybrids for the US corn-belt: discovery to product. *Journal of Experimental Botany*. T 65 № 21. 2014. P. 6191–6204.
149. Kadoumi R., Heslot N., Henriot F., Murigneux A., Berton M., Moreau L., Charcosset A. Evolution of population structure in a commercial European

- hybrid dent maize breeding program and consequences on genetic diversity. *Theoretical and Applied Genetics*. 2025. Vol. 138, №. 9. 233 p.
150. Hirsch C. N., et al. Draft assembly of elite inbred line PH207 provides insights into genomic and transcriptome diversity in maize. *The Plant Cell*. 2016. Vol. 28, №. 11. P. 2700–2714.
 151. Mikić S., et al. Molecular and phenotypic characterisation of diverse temperate maize inbred lines in Southeast Europe. *Zemdirbyste-Agriculture*. 2017. Vol. 104, №. 1. P. 31–40.
 152. Olmos S. E., Lorea R., Eyhétabide G. H. Genetic variability within accessions of the B73 maize inbred line. *Maydica*. 2014. Vol. 59, No. 3. P. 298–305.
 153. Incognito S. J., Eyhétabide G. H., Bertoia L. M., López C. G. Breeding potential of elite maize landraces to improve forage yield and quality of two heterotic patterns. *Crop Science*. 2013. Vol. 53, №. 1. P. 121–131.
 154. Антонюк С. П., Федько М. М. Сучасна гетерозисна модель простого гібрида. *Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН. Дніпропетровськ*, 2008. № 33–34. С. 127–131.
 155. Gouesnard B., Negro S., Laffray A., Glaubitz J., Melchinger A., Revilla P., Nicolas S. Genotyping-by-sequencing highlights original diversity patterns within a European collection of 1191 maize flint lines, as compared to the maize USDA genebank. *Theoretical and Applied Genetics*. 2017. Vol. 130, № 10. P. 2165–2189.
 156. Боденко Н. А. Використання різних генетичних плазм при створенні посухостійких гібридів кукурудзи. *Наукові проблеми виробництва зерна в Україні та сучасні методи їх вирішення: тези Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів (м. Дніпропетровськ, 10-11 лютого 2000 р.)*. Дніпропетровськ, 2000. С. 64–65.
 157. Харченко Ю. В., Харченко Л. Я. Вихідний матеріал для селекції кукурудзи *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2013. № 3. С. 61–67.

158. Smith J. S., Gardner C. A. Ensuring the genetic diversity of maize and its wild relatives CIMMYT Germplasm Bank (Maize Collection), Mexico. Achieving sustainable cultivation of maize Volume 1. Burleigh Dodds Science Publishing, 2017. P. 21–68.
159. Сергєєва І. Внесок Селекційно-генетичного інституту – НЦНС у створення національного банку зернових колосових культур в Україні. Часопис української історії. 2018. Вип. 37. С. 122–132.
160. Рябчун В. К., Кузьмишина Н. В., Богуславський Р. Л. Стан Національного Генбанку рослин України у військовий час 2022 року. Генетичні ресурси рослин. 2022. № 30. С. 11–20.
161. Рябчун В. К., та ін. Інтродукція рослин як пріоритетний напрям наукової і практичної діяльності Національного центру генетичних ресурсів рослин України. Генетичні ресурси рослин. 2019. № 24. С. 11–24.
162. Рябчун В. К., et al. Шляхи збагачення Національного генбанку рослин України. Генетичні ресурси рослин. 2014. Вип. 14. С. 5–21.
163. Кукурудза на зрошуваних землях півдня України : монографія Ю. О. Лавриненко, Р. А. Вожегова, С. В. Коковіхін та ін. ; за ред. Ю. О. Лавриненка. Херсон : Айлант, 2011. 468 с.
164. Вожегова Р. А., Влащук А. М., Дробіт О. С. Продуктивність та економічна ефективність вирощування гібридів кукурудзи різних груп стиглості в умовах зрошення. Вісник аграрної науки. 2018. № 7. С. 18–26.
165. Белоусов А. О. та ін. Напрями та результати селекції кукурудзи (*Zea mays* L.) у СГІ–НЦНС на посухостійкість. Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту Національного центру насіннєзнавства та сортовивчення. 2016. Вип. 28. С. 33–43.
166. Vozhehova R. A. Науково-практичні аспекти створення адаптованих до кліматичних змін сортів і гібридів сільськогосподарських культур та технологій їх вирощування в умовах зрошення Півдня України. Publishing House “Baltija Publishing”, 2020. С. 64–84.

167. Zhang X., Xu M. L. Adaptation of maize to various climatic conditions: genetic underpinnings. *Bioscience Evidence*. 2024. Vol. 14, №. 3. P. 122–130.
168. Кузьмішина І. І. Географія рослин : курс лекцій. Луцьк : Вежа-Друк, 2017. 96 с.
169. Робота авторського колективу науковців НААН по створенню унікальної колекції гібридів кукурудзи – серед достойних Державної премії України в галузі науки і техніки 2020 року. Національна академія аграрних наук України. URL: https://naas.gov.ua/newsall/newsnaan/?ELEMENT_ID=6529 (дата звернення: 14.07.2026).
170. Історія Інституту зернових культур НААН. Інститут зернових культур НААН. URL: <https://institut-zerna.com/institute/history.htm> (дата звернення: 14.07.2026).
171. Сидякіна О. В., Руденко Т. І. Геномна та біотехнологічна трансформація селекції сільськогосподарських культур в умовах кліматичних змін. *AGROCLIMATE 2026: Innovation, Adaptation, Sustainable Development* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, с. Полігон, 10–11 березня 2026 р. Полігон, 2026. С. 212–215.
172. Troyer F. A. Adaptedness and heterosis in corn and mule hybrids. *Crop Science*. 2006. Vol. 46, No. 2. P. 528–543.
173. Гаркава О. М. Оцінка та добір селекційного матеріалу кукурудзи на адаптивну стійкість до жару та посухи. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2008. № 2. С. 28–33.
174. Стратегія вітчизняного вирощування кукурудзи в умовах сьогодення. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/articles/tekhnolohiyi-vyroshchuvannya/stratehiya-vitchyznyanoho-vyroshchuvannya-kukurudzy-v-umovakh> (дата звернення: 14.07.2026).
175. Воскобойник О. В. Добір вихідного матеріалу за ознаками скоростиглості при селекції ранньостиглих гібридів кукурудзи : дис. ...

- канд. с.-г. наук : 06.01.05 / Інститут зернового господарства УААН. Дніпропетровськ, 2007. 174 с.
176. Беліков Є. І., Купріченко Т. Г. Нові кременисті лінії кукурудзи. Зернові культури. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–28.
 177. Reimer R., Stich B., Melchinger A. E., Schrag T. A., Sorensen A. P., Stamp P., Hund A. Root response to temperature extremes: association mapping of temperate maize (*Zea mays* L.). *Maydica*. 2013. Vol. 58, №. 2. P. 156–168.
 178. Rincent R., Nicolas S., Bouchet S., Altmann T., Brunel D., Revilla P., et al. Dent and Flint maize diversity panels reveal important genetic potential for increasing biomass production. *Theoretical and Applied Genetics*. 2014. Vol. 127, № 11. P. 2313–2331.
 179. Черчель В. Ю., Стасів О. Ф., Боденко Н. А., Купар Ю. Ю. Екологічна стабільність урожайності зерна гібридів кукурудзи – визначальна умова підвищення валового виробництва. Сільське господарство та лісівництво. 2020. № 19. С. 177–195.
 180. Gribincea V. Evaluarea diversității genetice a liniilor consangvinizate de porumb din grupa de germoplasmă Lacaune. *Știința Agricolă*. 2022. № 2. P. 20–28.
 181. Arrones A., Vilanova S., Plazas M., Mangino G., Pascual L., Díez M. J., et al. The dawn of the age of multi-parent MAGIC populations in plant breeding: novel powerful next-generation resources for genetic analysis and selection of recombinant elite material. *Biology*. 2020. Vol. 9, no. 8. P. 229.
 182. Гаврилюк В. М. та ін. Ефективність вирощування високопродуктивних гібридів кукурудзи з підвищеним адаптивним потенціалом до несприятливих умов довкілля. Аграрні інновації. 2022. № 15. С. 97–103.
 183. Ільченко Л. А. Комбінаційна цінність кращих рекомбінантів синтетичної популяції кукурудзи Дніпровська 1 (С1) в різних генераціях інбридингу : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Дніпропетровськ, 2001. 146 с.

184. Помогайбо В. М., Петрушов А. В., Березан О. І. Початок генетики: грегор Мендель та інші. Мир медицины и биологии. 2016. № 2. 56. С. 198–204.
185. Вишинська Г. В., Столяр В. А. Застосування методів математичної статистики у соціально-педагогічних наукових дослідженнях. Педагогічна Академія: наукові записки. 2025. № 23. 21с.
186. Присяжнюк Л. М., Шитікова О. В., Таганцова М. М., Діхтяр І. О., Гринів С. М. Порівняльний аналіз ліній кукурудзи звичайної (*Zea mays* L.) за морфологічними та молекулярними характеристиками. Plant Varieties Studying and Protection. 2024. Т. 20, № 4. С. 234–242.
187. Тетенкова І. Ю. Оцінка впливу змін клімату на вирощування кукурудзи на зерно в умовах Західного Лісостепу. 2026. С. 15–18.
188. Чернобай Л. М., Музафаров Н. М., Сікалова О. В., Китайова С. С. Екологічна пластичність гібридів кукурудзи у степовій зоні України. Таврійський науковий вісник. 2013. № 83. С. 122–127.
189. Белоусов А. О., Соколов В. М., Доменюк В. П. Використання MAS-технології в селекції кукурудзи (*Zea mays* L.) на гетерозис. Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту – Національного центру насіннезнавства та сортовивчення. 2015. Вип. 25. №65. С. 204–212.
190. Грубань В. Експериментальні дослідження відокремлення качанів кукурудзи на качановідокремлювальному апараті багатофакторної дії. Техніка і технології АПК. 2017. № 4. С. 19–22.
191. Ozhiganov K. Selective improvement of intermediate wheatgrass *Kernza* in terms of productivity: current status and prospects. Feeds and Feed Production. 2025. № 99. P. 29–38.
192. Метлицька О. І., Копилов К. В., Березовський О. В. Сучасні молекулярно-генетичні підходи для підвищення ефективності селекційного процесу в тваринництві України. Розведення і генетика тварин. 2016. № 51. С. 193–200.

193. Davies B., Coulter J. A., Pagliari P. H. Timing and rate of nitrogen fertilization influence maize yield and nitrogen use efficiency. PLOS ONE. 2020. Vol. 15, №. 5. Art. e0233674.
194. Nutrient use efficiency in plants. ed. by M. J. Hawkesford, S. Kopriva, L. J. De Kok. Switzerland : Springer, 2016. 235 p.
195. Koevoets I. T., Venema J. H., Elzenga J. T. M., Testerink C. Roots withstanding their environment: exploiting root system architecture responses to abiotic stress to improve crop tolerance. Frontiers in Plant Science. 2016. Vol. 7. Art. 1335.
196. Kruglova N. N., Zinatullina A. E. Some methodological approaches to the identification of heat-resistant genotypes of crop plants (by the example of cereals). Biology Bulletin Reviews. 2023. Vol. 13, №. 4. P. 371–381.
197. Khan M. A., Gemenet D. C., Villordon A. Root system architecture and abiotic stress tolerance: current knowledge in root and tuber crops. Frontiers in Plant Science. 2016. Vol. 7. Article 1584.
198. Freschet G. T., et al. Root traits as drivers of plant and ecosystem functioning: current understanding, pitfalls and future research needs. New Phytologist. 2021. Vol. 232, no. 3. P. 1123–1158.
199. Кокорев О. І., Рябчун Н. І., Колупаєв Ю. Є. Видові особливості функціонування осмопротекторної і антиоксидантної систем проростків злаків при дегідратації. Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія. 2021. № 3. 54. С. 37–48.
200. Bocianowski J., et al. Genotype by environment interaction using AMMI model and estimation of additive and epistasis gene effects for 1000-kernel weight in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). Journal of Applied Genetics. 2019. Vol. 60, № 2. P. 127–135.
201. Бродович В. Ю., Бродович Ю. Р. Сучасний стан та перспективи геноміки: від фундаментальних досліджень до клінічного застосування. Сучасні тенденції розвитку науки й освіти в умовах поглиблення

- євроінтеграційних процесів : збірник тез доповідей IV Міжнародної науково-практичної конференції. 2024. С. 332–334.
202. Мосула М. З., Дробик Н. М., Кунах В. А. Досягнення і перспективи сучасної генетики, селекції, біотехнології та еволюційної теорії (за матеріалами X Міжнародної наукової конференції «Фактори експериментальної еволюції організмів», 14–18 вересня 2015 р., м. Чернівці, Україна). Вісник Українського товариства генетиків і селекціонерів. 2016. Т. 14, № 1. С. 92–100.
 203. Vivek B. S. та ін. Use of genomic estimated breeding values results in rapid genetic gains for drought tolerance in maize. *The Plant Genome*. 2017. Vol. 10, №. 1. Art. 0070.
 204. Дубровна О. В., Михальська С. І., Комісаренко А. Г. Сучасні досягнення у технології *Agrobacterium*-опосередкованої трансформації пшениці. *Фізіологія рослин і генетика*. 2025. Т. 57, № 4. С. 279–307.
 205. Коць С. Я., Олег О. Основні тенденції використання фізіології у селекції, підвищенні продуктивності та стресостійкості рослин в Україні. *Ukrainian Botanical Journal*. 2025. Т. 82, № 6. С. 577–593.
 206. Matkovskiy R., Taran O., Kolomiets Y. Principles of high-throughput phenotyping and sensor platforms for non-invasive research in plant protection. *Biological Systems: Theory & Innovation*. 2025. Vol. 16, №. 2. P. 23–36.
 207. Пасічник Н. А., Опришко О. О., Тараріко О. Г. Дистанційне зондування агрофітоценозів із платформи БПЛА для оцінки рівня живлення рослин. *Агроекологічний журнал*. 2021. № 4. С. 75–81.
 208. Hoff P. Additive and multiplicative effects network models. *Statistical Science*. 2021. Vol. 36, no. 1. P. 34–50.
 209. Гудзенко В. М. та ін. Статистична та АММІ оцінка стабільності селекційних ліній ячменю ярого в багатосередовищних випробуваннях. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 4. С. 347–357.
 210. Daemo B. B., Wolancho G. B., Arke Z. A., Wakalto D. D., Onu M. H. Performance evaluation and stability of maize (*Zea mays* L.) genotypes for grain

- yield using AMMI and GGE biplot. *International Journal of Agronomy*. 2024. Vol. 2024, article ID 8801999.
211. Brković P., et al. Yield stability and antioxidant response of wheat under multi-environment conditions: insights from AMMI and GGE biplot analyses. *Agronomy*. 2025. Vol. 15, № 12. P. 2684.
 212. Солонечний П. М. та ін. GGE biplot аналіз взаємодії генотип-середовище сортів ячменю ярого. *Селекція і насінництво*. 2014. № 106. С. 93–102.
 213. Чернуський В. В. Теорія і практика точного фенотипування в селекції рослин для підвищення ефективності добору. Наукові здобутки селекціонерів ННЦ «Інститут землеробства НААН» – на благо майбутнього : матеріали Міжнародної наукової Інтернет-конференції (сmt Чабани, 8 вересня 2022 р.). ред. кол. : Н. В. Чувікіна, Д. Б. Рахметов та ін. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2022. С. 110–114.
 214. Заплітний Я. Д. Добір вихідного матеріалу кукурудзи при селекції гібридів, адаптованих до умов західного Лісостепу : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Дніпропетровськ, 2013. 182 с.
 215. Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Забара П. П. Моделі гібридів кукурудзи FAO 150–490 для умов зрошення. *Аграрні інновації*. 2020. № 2. С. 113–119.
 216. Абельмасов О. В., Ільченко Л. А. Комбінаційна здатність нового вихідного матеріалу генетичної плазми Iodent за селекції гібридів кукурудзи для степової зони України. *Plant Varieties Studying and Protection*. 2018. Т. 14, № 3. С. 262–269.
 217. Бондар Т. М. Комбінаційна здатність сімей S2 і S3, виділених на базі синтетичних популяцій кукурудзи (*Zea mays* L.), споріднених з плазмою Айодент. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України*. 2013. № 5. С. 117–120.
 218. Кузьмишина Н. В., Рябчун В. К., Вакуленко С. М., Тertiшна Н. В., Бібель Ю. О. Генетична цінність самозапилених ліній кукурудзи за рівнем комбінаційної здатності. *Генетичні ресурси рослин*. 2019. № 25. С. 94–104.

219. Клімова О. Є. Диференціація рекомбінантних ліній цукрової кукурудзи за параметрами комбінаційної здатності. Селекція і насінництво. 2014. № 106. С. 111–120.
220. Graham L. Lysenko's Ghost: Epigenetics and Russia. Cambridge: Harvard University Press, 2016. 224 p.
221. Ramadan, Ahmed Shehab Abd-allah, Mukhlif, Fadhil Hussein, and Najm, Bushra Ftaikhan. Genetic analysis of combining ability and gene action of yield and its components in maize (*Zea mays* L.) using full diallel cross. Annals of the Romanian Society for Cell Biology. 2021. Vol. 25, №. 5. P. 1241–1256.
222. Чернобай, Л. М., Петренкова, В. П., Літун, П. П. Вивчення генетичної цінності ліній кукурудзи за нормою реагування на фенотипові середовище у гібридів F1. Селекція і насінництво. 2015. № 108. С. 130–139.
223. Li Z., Zhao Y., Luo K. Molecular mechanisms of heterosis and its applications in tree breeding: progress and perspectives. International Journal of Molecular Sciences. 2024. Vol. 25, № 22. P. 12344.
224. Присяжнюк Л. М., Черній С. О., Таганцова М. М., Ткачик С. О. Застосування SSR маркерів для оцінювання поліморфізму кукурудзи (*Zea mays* L.) в експертизі на відмінність, однорідність, стабільність. Физиология растений и генетика. 2019. Т. 51, № 6. С. 529–540.
225. Букреєва Н. І., Белоусов А. О., Сиволап Ю. М. Алельний склад поліморфних локусів ліній і гібридів та його зв'язок з рівнем гетерозису у кукурудзи. Cytology and Genetics. 2014. Т. 48, № 2. С. 12–19.
226. Волкова Н. Е., Букреєва Н. І., Сліщук Г. І. Молекулярно-генетичний та біоінформатичний аналіз поліморфізму геному кукурудзи (*Zea mays* L.): результати 25 років досліджень в СГІ–НЦНС. Збірник наукових праць Селекційно-генетичного інституту–Національного центру насіннезнавства та сортовивчення. 2015. № 25. С. 91–102.
227. Cooper M., Messina C. D., Podlich D., Totir L. R., Baumgarten A., Hausmann N. J., Graham G. Predicting the future of plant breeding:

- complementing empirical evaluation with genetic prediction. *Crop & Pasture Science*. 2014. Vol. 65, №. 4. P. 311–336.
228. Маринич О. М., Шищенко П. Г. Фізична географія України : підручник. Київ : Знання, 2005. 511 с.
229. Географічна енциклопедія України : у 3 т. ; відп. ред. О. М. Маринич. Київ: Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 1989. Т. 1 : А–Ж. 416 с.
230. Національний атлас України / голов. ред. Л. Г. Руденко ; НАН України, Ін-т географії. Київ : ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
231. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбиди, А. Л. Прокопенка. Київ : КВІЦ, 2011. 556 с. URL: <https://k.twirpx.link/file/2711114/> (дата звернення: 17.02.2026).
232. Гринчак В. В. Аналіз кліматичних змін на Дніпропетровщині. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. № 20. С. 43–51.
233. Клімат України : монографія / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
234. Semenova I., Slizhe M. Synoptic Conditions of Droughts and Dry Winds in the Black Sea Steppe Province Under Recent Decades. *Frontiers in Earth Science*. 2020. Vol. 8. P. 69.
235. Nykytiuk Yu., Kravchenko O. Climate predictors of crop yields in the Polissia and Forest-Steppe regions of Ukraine. *Scientific Horizons*. 2025. Vol. 28, No 11. P. 20–27.
236. Природно-сільськогосподарське районування України. *Lektsii.org* : інформаційний ресурс. URL: <https://lektsii.org/4-26158.html> (дата звернення: 17.02.2026).
237. Герасименко В. Г. Агрохімічні показники родючості чорноземів типових під різними фітоценозами : кваліфікаційна робота магістра / спец. 201 «Агрономія» ; наук. кер. Ю. В. Дегтярьов. Харків : ДБТУ, 2023. 64 с.
238. Kirnasovskaya N. V., Shulyakova I. G. Agroclimatic assessment of soil climate of the Northern Black Sea coast region (using the example of corn). *Ukrainian hydrometeorological journal*. 2020. № 26. С. 68–77.

239. Балабух В. О. Вплив зміни клімату на формування урожайності кукурудзи в агрокліматичних зонах України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 3. С. 103–104.
240. Каламбет В.В. Результати випробувань гібридів кукурудзи селекції KWS в сезоні 2024. KWS. 2024. URL: <https://www.kws.com/ua/uk/produkty/kukurudza/novyny/rezultaty-vyprobuvan-hibrydiv-kukurudzy-selektsiyi-kws-v-sezoni-2024/> (дата звернення: 26.01.2025).
241. Global Ag News for July 17-24. ADMISI : інформ. ресурс. 2024. URL: <https://cfuat.admisi.com/global-ag-news-for-july-17-24/> (дата звернення: 17.02.2026).
242. Лебідь Є. М., Циков В. С., Пащенко Ю. М. та ін. Методика проведення польових дослідів з кукурудзою. ІЗГ УААН. Дніпропетровськ, 2008. 24 с.
243. Адаптація рослинництва в умовах змін клімату: рекомендаційний показник літератури (уклад. О. О. Цокало; за ред. Д. В. Ткаченко). Миколаїв: МНАУ, 2022. 80 с.
244. Методика державного сортовипробування сільськогосподарських культур. Зернові, круп'яні та зернобобові. Київ, 2001. С. 4–65.
245. Montgomery D. C. Design and Analysis of Experiments. Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, 2017. 724 p.
246. Maize Diseases: A Guide for Field Identification. The CIMMYT Maize Program. 4th ed. Mexico, D.F. : CIMMYT, 2004. 124 p.
247. Визначник морфологічних ознак сортів кукурудзи (*Zea mays* L.) – ілюстративне доповнення до Методики проведення експертизи сортів куку-рудзи на відмінність, однорідність та стабільність упоряд.: М. Таганцова, С. Гринів, С. Мельник [та ін.]. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2024. 46 с.
248. Класифікатор–довідник виду *Zea mays* L. Харків, 1994. 73 с.
249. Атраментова Л. О., Утевська О. М. Статистичні методи в біології. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2007. 288 с.

250. Атраментова Л. О., Утєвська О. М. Статистика для біологів: підручник. Харків: НТМТ, 2014. 331 с.
251. Адєгов А. В., Душенко Т. М. Опис програм статистичної обробки експериментальних даних : інструкція. Дніпропетровськ : ОЦ НВО Дніпро, 1985. Вип. 1. 57 с.
252. Fasahat P. et al. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. *Biometrics & Biostatistics International Journal*. 2016. Vol. 4. Iss. 1. Art. 00085.
253. Oliveira I. C. M., Atroch A. L., et al. Stability indices to deciphering the genotype-by-environment interaction (GEI) effect: an applicable review for use in plant breeding programs. *Plants*. 2022. Vol. 11, № 3. Art. 414.
254. Pour-Aboughadareh A., Khalili M., Pocza P., Olivoto T. Stability indices to deciphering the genotype-by-environment interaction (GEI) effect: An applicable review for use in plant breeding programs. *Plants*. 2022. Vol. 11, № 3. P. 414
255. Do Couto D. P. et al. Analysis of the effect of the interaction of genotype and environment on the yield stability of maize varieties; genetic resources for breeding. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, iss. 8. P. 1970.
256. Hammer O. PAST 4.03 Reference Manual. Natural History Museum, University of Oslo, 2020. 430 p.
257. Силенко О. С, Силенко С. І. Добір вихідного матеріалу для гетерозисної селекції зернової кукурудзи за тривалістю вегетаційного періоду та його міжфазних періодів. *Селекція і насінництво*. 2012. № 101. С. 115 – 121
258. Сатановська І. П. Тривалість вегетаційного періоду різностиглих гібридів кукурудзи залежно від біологічних препаратів та погодних умов. *Агропромислове виробництво Полісся*. 2013. № 6. С. 148–152.
259. Jeschke M. R., et al. Maize Leaf Appearance Rates: A Synthesis From the United States Corn Belt. *Frontiers in Plant Science*. 2022. Vol. 13. Art. 872738.

260. Kumudini S., Andrade F. H., Boote K. J., et al. Predicting Maize Phenology: Intercomparison of Functions for Developmental Response to Temperature. *Agronomy Journal*. 2014. Vol. 106, № 6. P. 2087–2097.
261. Прудніков В. В., Ковалишина Г. М. Морфологічна оцінка батьківських компонентів кукурудзи (*Zea mays* L.) як індикатор їх адаптивного потенціалу в умовах Правобережного Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2025. Вип. 4 (18). С. 110–119.
262. Вожегова Р. А., Лавриненко Ю. О., Марченко Т. Ю., Пілярська О. О., Забара П. П., Сахацький Г. І. Морфологічні показники гібридів кукурудзи різних груп ФАО залежно від елементів технології за умов зрошення. *Аграрні інновації*. 2021. № 8. С. 91–99.
263. Haidash O., Nehoda T., Olkhovuk M. Методи та принципи створення вихідного матеріалу для селекції кукурудзи. *Agriculture*. 2024. № 3,4. С. 60–69.
264. Музафаров Н. М., Понуренко С. Г., Кузьмишина Н. В., Барсуков І. П., Сікалова О. В., Вакуленко С. М. Вплив погодних умов на мінливість морфологічних ознак кукурудзи. *Наукові засади підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва : матеріали VIII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 29 листоп. 2024 р.)*. Харків, 2024. С. 206–208.
265. Мазур В. А., Циганська О. І., Шевченко Н. В. Висота рослин кукурудзи залежно від технологічних прийомів вирощування. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 8. С. 5–13.
266. Jafari F., Wang B., Wang H., Zou J. Breeding maize of ideal plant architecture for high-density planting tolerance through modulating shade avoidance response and beyond. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2024. Vol. 66, № 5. P. 849–864.
267. Абельмасов О. В., Бебех А. В. Особливості прояву основних елементів структури врожайності самозапилених ліній кукурудзи в різних умовах вирощування. *Plant varieties studying and protection*. 2018. Vol. 14, № 2. С. 214–221.

268. Грабовський М. Б., Олізько О. П. Врожайність зерна тесткросів самозапилених ліній кукурудзи плазми Айодент, створених з використанням фізіологічних показників. Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. 2008. № 33/34. С. 132–135.
269. Клімова О. Є., Тимчук С. М., Мовчан Т. Д. Дослідження ознак врожайності в процесі кросбридингу цукрової та інших підвидів кукурудзи. Бюлетень Інституту зернового господарства УААН. 2008. № 33/34. С. 155–160.
270. Козубенко Л. В., Чупіков М. М., Камишан Т. П. Селекція гібридів кукурудзи різних груп стиглості в Інституті рослинництва ім. В. Я. Юр'єва. Селекція і насінництво. 2007. № 94. С. 3–10.
271. Кириченко В. В., Гур'єва І. А., Рябчун В. К. Класифікатор–довідник виду *Zea mays* L. Харків : ІР ім. В. Я. Юр'єва НААН, 2009. 83 с.
272. Wang Y., Shaw R. K., Fan X. et al. Recent advances in unraveling the genetic architecture of kernel row number in maize. *Plant Science*. 2025. Vol. 352. Article 112366.
273. Fernández J. A., Messina C. D., Salinas A., Prasad P. V., Nippert J. B., Ciampitti I. A. Kernel weight contribution to yield genetic gain of maize: A global review and US case studies. *Journal of Experimental Botany*. 2022. Vol. 73, № 11. P. 3597–3609.
274. Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and nonstress environments. F. J. Betrán, J. M. Ribaut, D. Beck, D. Gonzalez de León. *Crop Science*. 2003. Vol. 43, № 3. P. 797–806.
275. Пикало С. В., Демидов О. А., Юрченко Т. В., Гуменюк О. В., та ін. Розроблення способів оцінки та добору генотипів зернових культур на стійкість до абіотичних стресових чинників. *Екологічні науки*. 2020. № 5.32. С. 175–184.
276. Combining ability and heterosis of elite drought-tolerant maize inbred lines evaluated in diverse environments of lowland tropics. Moses A. Adebayo et al. *Euphytica*. 2017. Vol. 213, № 2. P. 43–44.

277. Sprague G. F., Tatum L. A. General vs. specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy*. 1942. Vol. 34, № 10. P. 923–932.
278. Красновський С. А., Жемойда В. Л. Комбінаційна здатність самозапилених ліній кукурудзи селекції на холодостійкість в умовах Правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: Агрономія*. 2015. № 210-1. С. 312–319.
279. Sunday I., Babatunde A., Stephen A., Charity A., Kayode O. Gene action in low nitrogen tolerance and implication on maize grain yield and associated traits of some tropical maize populations. *Open Agriculture*. 2020. Vol. 5, № 1. P. 801–805.
280. Darshan S. S., Marker S. Heterosis and combining ability for grain yield and its component characters in quality protein maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Electronic Journal of Plant Breeding*. 2019. Vol. 10, №. 1. P. 111–118.
281. Гончаров Ю. О., Присяжнюк Л. М., Шитікова Ю. В., Мельник С. І. Оцінка селекційного матеріалу кукурудзи, адаптованого до умов Степу України, за алельним станом гена β -каротингідроксилази. *Фізіологія рослин і генетика*. 2020. Т. 52, № 6. С. 469–482.
282. Begna T. Combining ability and heterosis in plant improvement. *Open Journal of Plant Science*. 2021. Vol. 6, iss. 1. P. 108–117.
283. Методичні рекомендації польового та лабораторного вивчення генетичних ресурсів кукурудзи. Харків : ІР ім. В. Я. Юр'єва УААН, 1993. 29 с.
284. Дзюбецький Б. В., Абельмасов О. В. Характеристика тесткросів ранньостиглих ліній кукурудзи плазми Айодент в умовах північної зони Степу України. *Зернові культури*. 2018. Т. 2, № 1. С. 5–13.
285. Грабовський М. Б., Боденко Н. А. Добір на скоростиглість у гібридних популяціях, одержаних за участю ліній гетерозисної групи Лакауне. *Бюлетень ІЗГ УААН*. 2007. № 31–32. С. 31–34.

286. Домашнев П. П., Дзюбецький Б. В., Костюченко В. И.. Селекція кукурузи. М.: Агропромиздат. 1992. 207с.
287. Rieger R., Michaelis A., Green M. Glossary of genetics and cytogenetics: classical and molecular. *Springer Science & Business Media*, 2012. P. 206.
288. Боденко Н. А. Добір та оцінка вихідного матеріалу на посухо– та жаростійкість для селекції середньостиглих гібридів кукурудзи : дис. ... канд. с.-г. наук : 06.01.05. Дніпропетровськ, 2003. 169 с.
289. Макаrchук М. О. Урожайність і адаптивна здатність гібридів кукурудзи у різних ґрунтово – кліматичних умовах. Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2016. Вип. 89, ч. 1. С. 87–96.
290. Федько М. М. Селекційна цінність самозапилених ліній кукурудзи різних зародкових плазм при створенні гібридів адаптованих до умов Степу України : дис. ... канд. с. – г. наук : 06.01.05. Дніпропетровськ, 2009. 183 с.
291. Erkovan Ş., Koç A. Competition-Productivity Relationship Between Some Common Grasses and Forbs Plant Species in High Altitude Rangelands. *Journal of Agricultural Sciences*. 2022. Vol. 28, №. 2. P. 287–295.
292. Антонюк С. П. Селекційна оцінка самозапилених ліній кукурудзи різних генетичних плазм в умовах південно-східного Степу України. *Бюлетень Інституту зернового господарства*. Дніпропетровськ, 2007. № 30. С. 104–109.
293. Донець А. О., Марченко Т. Ю. Прояв і мінливість урожайності зерна у ліній–батьківських компонентів та гібридів кукурудзи. IV International Scientific and Practical Conference "Breeding of agricultural crops under climate change: directions and priorities", September 12, 2025, Odesa, Ukraine. С. 25–28.
294. Дзюбецький Б., Федько М., Боденко Н. Отримання та оцінка нових інбредних ліній кукурудзи (*Zea mays* L.), споріднених з геноплазмою Lancaster. Вісник аграрної науки. 2015. Т. 93, № 1. С. 46–50.

295. Китайова С. С., Понуренко С. Г., Чернобай Л. М. Темпи вологовіддачі зерна кукурудзи при досяганні гібридів різних груп стиглості. Селекція і насінництво. 2013. № 104. С. 66–74.
296. Романенко М. Вологовіддача як фактор економічної ефективності вирощування кукурудзи. Пропозиція. Київ, 2010. № 12. С. 33–35.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

Наукові праці, у яких опубліковані основні результати дисертації

Статті в наукових фахових виданнях

1. Черчель В. Ю., Кулик О. В. Особливості прояву елементів структури врожаю скоростиглих самозапилених сімей S4–S5 кукурудзи за різних погодних умов. *Зернові культури*. 2025. Том 9. № 2. С. 198–206. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0379>

2. Кулик О. В. Взаємодія генотипу та середовища у визначенні продуктивності скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи (*Zea mays* L.). *Зернові культури*. 2026. Т. 10, № 1. С. 83–91. DOI: <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0413>

Статті в наукометричній базі Web of Science

3. Cherchel V., Kulyk O. Evaluation of productivity components and their interrelationships in early-maturing inbred maize families. *Modern Phytomorphology*. 2026. Vol. 20. P. 623–626. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.200623>

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

4. Черчель В. Ю., Кулик О. В. Ідентифікація скоростиглих ліній кукурудзи південного екотипу та їхніх гетерозисних моделей. Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату : матеріали Міжнар. науково-практ. інтернет-конф. молодих уч. і спеціалістів (Дніпро, 16 берез. 2023 р.). Дніпро, 2023. С. 7–8.

Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації

5. А. с. № 250521. Кукурудза звичайна. (*Zea mays* L.). ДН Явір. / Черчель В. Ю, Дзюбецький Б. В., Боденко Н.А., Гайдаш О.Л., Ольховик М.С., Круглова М.О., Купар Ю.Ю., Кулик О.В., Коробко Ю. А., Костенко В.В. (Україна). № 24009040; заяв. 26.12.2025; опубл. в Бюлетені «Охорона прав на

сорти рослин» офіційне видання. № 12. 2025. С. 91. / Міністерство економіки, довкілля та сільського господарства України.

6. А. с. № 250070 Кукурудза звичайна. (*Zea mays* L.). ДН Буча. / Черчель В. Ю, Дзюбецький Б. В., Боденко Н.А., Гайдаш О.Л., Абельмасов О.В., Ковальов Д.В., Круглова М.О., Купар Ю.Ю., **Кулик О.В.**, Коробко Ю. А. (Україна). № 23009009; заяв. 07.02.2025; опубл. в Бюлетені «Охорона прав на сорти рослин» офіційне видання. № 1. 2025. С. 50. / Міністерство аграрної політики і продовольства України.

7. Інноваційні підходи у створенні, адаптації та оцінці вихідного матеріалу кукурудзи на стресолерантність : науково-методичні рекомендації / Б. В. Дзюбецький, В. Ю. Черчель, А. В. Алдошин, Н. А. Боденко, О. Л. Гайдаш, Д. С. Купріченков, М. О. Круглова, Е. М. Федоренко, Д. В. Ковальов, Л. В. Томаш, Д. В. Козарійчук, В. В. Костенко, **О. В. Кулик**, В. О. Гайдабура, А. В. Бебех. Вид. 2-ге, доопр. і допов. Вінниця : ТВОРИ, 2026. 52 с. DOI: doi.org–2026.03.12.01-52/022

ДОДАТОК Б


Міністерство аграрної політики та продовольства України

СВІДОЦТВО

№ 250070

про авторство на сорт рослини

ДН Буча
назва сорту
Кукурудза звичайна
Zea mays L.
ботанічний таксон

Заявка № **23009009**

Автор(и):

Дзюбецький Борис Володимирович	Черчель Владислав Юрійович
Боденко Наталя Анатоліївна	Гайдаш Олександр Леонідович
Абельмасов Олексій Вікторович	Ковальов Денис Володимирович
Круглова Маргарита Олегівна	Купар Юлія Юріївна
Коробко Юлія Анатоліївна	Кулик Олександр Віталійович

Директор Департаменту
аграрного розвитку

 **Ігор ВІШТАК**



ДОДАТОК В



Міністерство економіки,
довкілля та сільського господарства України

Свідоцтво

№ 250521

про авторство на сорт рослин

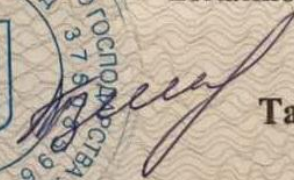
ДН Явір
назва сорту

Кукурудза звичайна
Zea mays L.
ботанічний таксон

Заявка № **24009040**

Автор(и):

Дзюбецький Борис Володимирович	Черчель Владислав Юрійович
Боденко Наталя Анатоліївна	Гайдаш Олександр Леонідович
Купар Юлія Юріївна	Ольховик Максим Станіславович
Кулик Олександр Віталійович	Круглова Маргарита Олегівна
Коробко Юлія Анатоліївна	Костенко Владислав Віталійович

Заступник Міністра  Тарас ВИСОЦЬКИЙ



ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 17:44:05 31.07.2026

Назва файлу з підписом: Дисертація Кулик О.В..docx.asice
Розмір файлу з підписом: 3.6 МБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Дисертація Кулик О.В..docx
Розмір файлу без підпису: 3.6 МБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: КУЛИК ОЛЕКСАНДР ВІТАЛІЙОВИЧ
П.І.Б.: КУЛИК ОЛЕКСАНДР ВІТАЛІЙОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 3628108893
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 17:44:02 31.07.2026
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000A5753302E6EED107
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)
Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.07.08 13:00