

ПОДВІЙНО-ГАПЛОЇДНІ ЛІНІЇ ПЛАЗМИ АЙОДЕНТ У ГЕТЕРОЗИСНІЙ СЕЛЕКЦІЇ КУКУРУДЗИ**В. Ю. Черчель, В. В. Костенко***Державна установа Інститут зернових культур НААН, вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49009, Україна*

Актуальність. Сучасна селекція кукурудзи спрямована на інтенсифікацію процесів створення нових гібридів з покращеними господарсько-цінними ознаками. Одним з інноваційних є метод гаплоїдії, який дозволяє скоротити час отримання гомозиготного матеріалу до 1–2 років замість 6–7 – за традиційного інбридингу. Але цей метод він потребує постійного удосконалення для підвищення його ефективності. **Мета.** Дослідження спрямоване на оцінку подвійних гаплоїдів кукурудзи плазми Айодент за морфологічними ознаками, комбінаційною здатністю відносно врожайності зерна, а також на добір перспективних подвійно-гаплоїдних ліній, придатних для використання у селекції високоврожайних гібридів. **Матеріали і методи.** Дослідження проводили у 2022–2024 рр. на дослідному полі ДУ Інститут зернових культур НААН в умовах північного Степу України. Оцінку подвійно-гаплоїдних ліній здійснювали за тривалістю вегетаційного періоду, висотою рослин, висотою прикріплення продуктивного качана, загальною комбінаційною здатністю стосовно врожайності зерна. **Результати.** Встановлено значну варіативність морфологічних характеристик подвійно-гаплоїдних ліній. Висота рослин змінювалася від 144 см до 210 см, а тривалість періоду ознаки «сходи – цвітіння 50 % качанів» становила 62,3±1,1 днів. Визначено лінії з високою загальною комбінаційною здатністю, серед яких – ДКД 23-39, ДКД 23-31, ДКД 23-35. Гібриди, створені з використанням цих ліній, перевершили стандарти за врожайністю зерна (до 1,38 т/га) за її низької вологості під час збирання (10,1–10,9 %). **Висновки.** Визначені перспективні подвійно-гаплоїдні лінії (ДКД 23-39, ДКД 23-31, ДКД 23-35, ДКД 23-25, ДКД 23-14), які мають високу комбінаційну здатність за врожайністю зерна і можуть бути використані у селекційних програмах для створення продуктивних гібридів, адаптованих до умов північного Степу України.

Ключові слова: кукурудза, подвійний гаплоїд, гібрид, урожайність зерна, комбінаційна здатність, морфологічні ознаки

Вступ. У сучасних умовах глобальних змін клімату та зростаючої потреби в екологічно стійкому сільському господарстві особливо актуальним є виведення нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур, зокрема, кукурудзи. Вони повинні поєднувати високу врожайність із здатністю адаптуватися до різноманітних екологічних умов [1]. Кукурудза є однією з основних зернових культур, що відіграє вирішальну роль у забезпеченні продовольчої безпеки багатьох країн. Її генетичне вдосконалення сприяє не лише підвищенню продуктивності, а й забезпеченню стабільних урожаїв у мінливих кліматичних умовах [2].

Успіх селекції, спрямованої на адаптивність, визначається чітким формулюванням цілей та аналізом вихідного матеріалу. Попри широкий вибір гібридів кукурудзи з високим потенціалом врожайності, врожаї демонстру-

ють значну варіативність залежно від року. Через недостатню екологічну стабільність більшість гібридів не реалізує свій потенціал у виробничих умовах повною мірою [3].

До останнього часу в селекційній практиці основний акцент робився на потенційну врожайність, тобто на створення сортів, здатних формувати максимальний урожай за оптимальних умов. Це особливо важливо для інтенсивного землеробства, що базується на сучасних агротехнологіях, застосуванні високих доз добрив і меліорації. Без цих чинників навіть високопродуктивні гібриди не забезпечують економічно вигідного приросту врожаю. Однак у реальних виробничих умовах існує низка неконтрольованих факторів навколишнього середовища, тому надзвичайно важливо синтезувати сорти, здатні стабільно реалізовувати свій генетичний потенціал [4].

Інформація про авторів:

Черчель Владислав Юрійович, доктор с.-г. наук, професор, академік НААН України, в. о. директора, e-mail: vlad_cherch@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-0429-4961>

Костенко Владислав Віталійович, аспірант, молодший науковий співробітник, лаб. селекції скоростиглих гібридів кукурудзи, e-mail: kostenko_Wlad85@i.ua, <https://orcid.org/0009-0005-3863-3334>

Сучасна селекція кукурудзи спрямована на інтенсифікацію процесу створення нових гібридів з покращеними господарськo-цінними ознаками. Складовим етапом синтезу гібридів є наявність батьківських компонентів (гомозиготних ліній), які отримують шляхом інбридингу протягом 6–7 років. Тривалість і висока ресурсозатратність традиційного методу не дозволяє прискорити процес створення та впровадження нових високопродуктивних гібридів у виробництво [5].

Селекціонери А. В. Погрібний та ін. у своїх дослідженнях детально розглядають процес створення самозапилених ліній (СЗЛ) кукурудзи, використовуючи багаторазовий інбридинг. Вони наголошують на необхідності залучення вихідного матеріалу з високою генетичною різноманітністю. Такий підхід дозволяє отримати самозапилені лінії з бажаними агрономічними ознаками, включаючи підвищену врожайність, стійкість до стресових умов та покращені морфологічні характеристики [6].

Альтернативою традиційним підходам став метод гаплоїдії, який дозволяє значно скоротити час отримання гомозиготних ліній до 1–2 сезонів [7]. Наведена технологія базується на виділенні гаплоїдних рослин, їх диплоїдації, самозапиленні та подальшому доборі. Утім, широкому впровадженню методу гаплоїдії заважають проблемні питання, які потребують наукового розвитку та практичного вирішення.

О. М. Данилюк та ін. зосереджуються на методах оцінки самозапилених ліній шляхом проведення польових випробувань та аналізу генетичних маркерів і підкреслюють важливість комплексної оцінки селекційного матеріалу, яка включає аналіз врожайності, стійкості до захворювань, адаптивності до різних екологічних умов, а також визначення потенціалу використання цих ліній у створенні гібридів [8].

Важливим проблемним аспектом використання методу гаплоїдії при отриманні значної кількості подвійних гаплоїдів є їхня селекційна оцінка. Оскільки за традиційного методу (інбридингу) здійснюється поступова елімінація небажаних генотипів протягом кількох генерацій (S_1 – S_7), то у випадку використання гаплоїдії така можливість обмежена, що може призводити до збільшення не-

сприятливих генетичних варіацій у дослідній виборці. Це підкреслює необхідність розробки ефективних підходів до відбору найбільш перспективних подвійних гаплоїдів на ранніх етапах селекційного процесу [9].

Н. І. Золотарьова та ін. досліджують можливості застосування біотехнологічних методів у створенні самозапилених ліній, зокрема таких, як культура андрогенезу та використання гаплопродюсерів, що дає можливість значно скоротити тривалість селекційного процесу, а також значно зменшити витрати ресурсів [10].

М. С. Лісовий аналізує методи прискорення процесу створення самозапилених ліній (СЗЛ), серед яких особливу увагу приділено маркер-асоціативній селекції (MAS). Він зазначає, що застосування MAS дає змогу скоротити час, необхідний для отримання високоякісних самозапилених ліній, а також підвищити точність селекції, що є критично важливим для ефективного синтезу нових гібридів кукурудзи [11].

І. М. Петренко та ін. пропонують класифікувати самозапилені лінії за їхніми агрономічними та морфологічними характеристиками. Вони виділяють основні групи самозапилених ліній, які різняться за рівнем врожайності, стійкістю до стресових факторів та іншими важливими селекційними ознаками. Це сприяє більш ефективному відбору батьківських форм для створення нових високопродуктивних гібридів [12].

Крім того, важливим є питання добору вихідних компонентів для рекомбінації, оскільки швидке отримання гомозиготного матеріалу не завжди гарантує його високу ефективність. Необхідно враховувати особливості генетичного походження вихідного матеріалу, його адаптивні властивості та толерантність до інцухт-депресії [13].

Отже, метод гаплоїдії є ефективним засобом прискореного отримання гомозиготних ліній, проте його впровадження в селекційну практику потребує вирішення комплексу наукових та технологічних завдань. Визначення оптимальних підходів до використання гаплопродюсерів, вдосконалення методів ідентифікації гаплоїдів, покращення технологій диплоїдації та селекційної оцінки отриманих ліній є ключовими напрямами досліджень, які забезпечать підвищення

ефективності цього методу і його адаптацію для практичного використання.

Мета досліджень – спрямована на оцінку подвійних гаплоїдів за комбінаційною здатністю, морфологічними ознаками, тривалістю вегетаційного періоду, урожайності та вологості зерна тесткросів.

Матеріали та методика досліджень. Дослідження проводили упродовж 2022–2024 рр. на експериментальній базі Державної установи Інститут зернових культур НААН, розташованій у Північному Степу України. Погодні умови у роки досліджень були контрастними. Найменша температура повітря за вегетаційний період (квітень – вересень) відмічена у 2022 р. – у середньому 18,2 °С, але й вона була на 0,2 °С вищою за середньобаторічні дані. У цей рік також спостерігалися недостатні обсяги опадів (на 62,9 мм менше від середніх багаторічних), а 2023 р. видався більш сприятливим за вологозабезпеченістю, за вегетаційний період випало 247,4 мм опадів (однак це менше за багаторічні дані на 40,6 мм) за середньої температури повітря – 18,9 °С. У 2024 р. мала місце значна посуха, яка зумовлена низькою кількістю опадів 112,8 мм (39,2 %) від середньої багаторічної, а також вищою на 3,2 °С температурою повітря. Загалом, у роки досліджень температура повітря була вища за середню багаторічну, а кількість опадів – менша, і тільки завдяки вдалому їхньому розподілу протягом вегетації, врожайність зерна кукурудзи була на рівні середніх показників для даного регіону.

Оцінку матеріалу здійснювали у спеціалізованих селекційних розсадниках, а також у контрольному випробуванні. Площа ділянок для ліній і гібридів – 9,8 м². Повторність у випробуванні – трикратна. Густота стояння рослин для ліній і гібридів – 60 тис./га рослин на гектар. Для порівняльного аналізу обрали лінію-стандарт ДК744СВ3М та гібриди ДН Нур і ДБ Хотин.

Дослідні зразки – 38 подвійних гаплоїдів, які отримані на базі різного генетичного матеріалу плазми Айодент. Для оцінки комбінаційної здатності подвійних гаплоїдів проводили топкросні схрещування із чотирма тестерами, в т. ч. сестринські гібриди плазми Ланкастер Крос350С, ДК680С×ДК3060, ДК2965С×ДК6318 та кременистий гібрид

Крос160С. Відповідно до міжнародних і вітчизняних класифікаторів, здійснювали фенологічні спостереження, визначали дату появи сходів, цвітіння чоловічих і жіночих суцвіть, висоту рослин, визначали комбінаційну здатність відносно врожайності і вологості зерна.

Агротехніка вирощування кукурудзи відповідала стандартним польовим методикам: зяблева оранка глибиною (28–30 см), передпосівний обробіток, внесення мінеральних добрив – карбамід – 100 кг/га, ґрунтовий гербіцид – Загрей (4,5 л/га). Випробування проводили у спеціальній трипільній сівозміні («горох – озима пшениця – кукурудза»), сівбу розсадників здійснювали селекційною сівалкою.

Результати досліджень. У селекції кукурудзи метод матрокліної гаплоїдії із генетичним маркуванням впроваджений у ДУ ІЗК НААН вже майже 25 років. Було вивчено понад 1000 зразків на можливість їхнього використання у цій програмі [14] та зареєстровано сім гібридів кукурудзи, до складу яких входили подвійні гаплоїди: ДН Аджамка, ДН Булат, ДН Віта, ДБ Варта, ДН Славиця, ДЗ Спалах і ДН Ейрена [15, 16] і передано ще п'ять. Також занесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні батьківські компоненти – подвійні гаплоїди: ДК8141МВ, ДК3023ЗСЗМ, ДКД2725СВЗМ, ДКД3976СВЗМ, ДКД3023МВ та передано на кваліфікаційну експертизу лінії: ДК3074МВ і ДКД5171СВ.

Дані конкурсного випробування доводять, що гібриди кукурудзи на основі подвійних гаплоїдів мають аналогічні характеристики з гібридами, створеними на базі інбредних ліній, і не мають негативних показників, які б завадили впровадженню методу гаплоїдії у селекційну практику (табл. 1).

Виявлено, що гібриди ДБ Варта і ДН Булат переважали стандарт ДБ Хотин, у середньому за три роки, на 0,25 і 0,18 т/га, відповідно, а перший, ще при збиранні мав більш сухе зерно на 0,5 %. Тобто використання подвійних гаплоїдів у гетерозисній селекції кукурудзи може бути звичайною практикою поряд з інбредними лініями.

Дослідження різного генетичного матеріалу кукурудзи на можливість їхнього залучення у програми з використанням методу матрокліної гаплоїдії виявили більшу

Таблиця 1. Урожайність і вологість зерна гібридів кукурудзи створених на базі подвійних гапloidів (конкурсне випробування)

Гібрид	Ознака	2022 р.	2023 р.	2024 р.	Середнє
ДБ Варта	Урожайність зерна, т/га	6,63	8,39	6,45	7,16
	Вологість зерна під час збирання, %	19,9	15,5	9,2	14,9
ДН Ейрена	Урожайність зерна, т/га	6,08	7,60	5,77	6,48
	Вологість зерна під час збирання, %	21,2	13,9	7,3	14,1
ДН Булат	Урожайність зерна, т/га	6,72	8,59	5,97	7,09
	Вологість зерна під час збирання, %	22,8	17,1	9,7	16,5
ДБ Хотин (стандарт)	Урожайність зерна, т/га	6,82	7,46	6,44	6,91
	Вологість зерна під час збирання, %	20,7	16,2	9,2	15,4
Середнє по конкурсному випробуванню $\bar{x}=ts(\bar{x})$	Урожайність зерна, т/га	6,60±0,06	8,01±0,07	6,16±0,06	6,92
	Вологість зерна під час збирання, %	21,3±0,17	15,4±0,24	9,3±0,11	15,3
НІР _{0,05}	Урожайність зерна, т/га	0,37	0,44	0,31	-
	Вологість зерна під час збирання, %	0,6	0,7	0,3	-

схильність до утворення подвійних гапloidів у зразків плазми Ланкастер [17]. Тому першу робочу колекцію подвійних гапloidів було сформовано на основі цієї плазми [18]. До зареєстрованих ліній плазми Ланкастер відносяться ДК8141МВ, ДК3023 ЗСЗМ, ДКД3023МВ та перспективна – ДК3074МВ. Лінії плазми Айодент, які є альтернативними до плазми Ланкастер і утворюють з нею гетерозисну модель, менш схильні до індуку-

вання гапloidів. Проте в процесі досліджень отримано 38 подвійних гапloidів цієї плазми, що зумовило необхідність їх оцінки за селекційними показниками.

Вивчення морфобіологічних характеристик рослин дослідного набору подвійних гапloidів виявило їхню значну варіативність за тривалістю ознаки періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» (табл. 2).

Коефіцієнт варіювання тривалості озна-

Таблиця 2. Оцінка морфобіологічних ознак кукурудзи плазми Айодент

Показник		2023 р.	2024 р.	Середнє
Тривалість ознаки періоду «сходи – цвітіння 50% качанів», діб	$\bar{x}=ts(\bar{x})$	61,4±1,1	63,3±1,2	62,3±1,1
	V, %	5,57	5,48	5,48
	Lim	52÷69	53÷70	52,5÷69,5
	ДК744СВЗМ*	61	65	63
Висота рослин, см	$\bar{x}=ts(\bar{x})$	169,6±5,1	172,5±4,8	171,1±4,5
	V, %	8,99	8,43	7,93
	Lim	135÷218	143÷202	144÷210
	ДК744СВЗМ	145	144	144,5
Висота прикріплення продуктивного качана, см	$\bar{x}=ts(\bar{x})$	57,2±4,9	60,2±4,9	58,7±4,9
	V, %	25,6	24,3	24,9
	Lim	28÷91	33÷93	30,5÷92
	ДК744СВЗМ	50	46	48

Примітка. *ДК744СВЗМ – лінія стандарт.

ки періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів» за роки вивчення складав 5,57 і 5,48 %, відповідно. Розмах лімітних дат цвітіння в обидва роки становив 17 діб. Тобто, лінії, які

вивчались мали, ознаки як генотипів ранньої групи стиглості, так і середньопізньої. Загалом, 43,2 і 40,5 % (2023 і 2024 рр., відповідно) зразків зацвітали раніше за середню по дос-

ліду, яка складала $61,4 \pm 1,1$ і $63,3 \pm 1,2$ доби, відповідно за роками. Значення цього показника у стандартної лінії ДК744СВЗМ були близькі до середньої за дослідом, але враховуючі особливості погодних умов років досліджень, вона зацвітала пізніше звичайного, що зумовлено прохолодною весною і затримкою розвитку на початку вегетації. Слід відмітити, що серед досліджених зразків була значна частина подвійних гаплоїдів з раннім цвітінням і кращими характеристиками за стійкістю до весняного холоду (ДКД 23-18, ДКД 23-19, ДКД 23-23, ДКД 23-24, ДКД 23-31, ДКД 23-40, ДКД 23-44).

За висотою рослин також спостерігалась значна відмінність, розмах якої у середньому складав 66 см, а у 2023 р. він був максимальним – 83 см. У порівнянні зі стандартною лінією ДК744СВЗМ тільки два зразки були з близьким показником, а 94 % подвійних гаплоїдів мали більші значення цієї ознаки. Виділено подвійні гаплоїди, які, у середньому, мали висоту рослин більшу за 190 см: ДКД 23-17, ДКД 23-47, ДКД 23-28, ДКД 23-21. Зазвичай архітектоніка посіву, висота рослин як складова цього поняття, впливає на агротехнологічний супровід, напрямки використання зразка (зерно, силос), на технологічні показники дозрівання і збирання врожаю.

Висота прикріплення качана, також є ознакою важливою з технологічної точки зору вирощування кукурудзи, оскільки впливає на якість збирання посівів та стійкість гібридів до вилягання. Розташування качанів нижче 40 см, може призвести до втрат при збиранні, ситуація погіршується, якщо зразок схильний до поникнення качанів. При високому закладанні качана вище 100 см, може спостерігатись вегетативне вилягання рослин за несприятливих погодних умов: шквали, зливи, тощо. Співвідношення висоти рослин до висоти прикріплення продуктивного качана використовується у офіційному описі зразків кукурудзи та визначає архітектоніку рослини і посіву загалом.

Аналіз висоти прикріплення продуктивного качана у подвійно-гаплоїдних ліній плазми Айодент, показав, що, у середньому за роки випробування, вона склала $58,7 \pm 4,9$ см за найбільшого коефіцієнта варіювання серед дослідних ознак 25,6 і 24,3 %, відповідно за

2023 і 2024 рр. Визначено також що незначна кількість досліджених зразків характеризувалась проявом ознаки меншої за 40 см, у 2023 р. – 13 % і у 2024 р. – 8 %. Загалом, подвійні гаплоїди мали оптимальне розташування качана на рослині, що зумовлює можливість їхнього використання для створення гібридів зернового типу. Слід зазначити, що всі лінії мали добру стійкість до вилягання, як стеблового, так і вегетативного. Пошук кореляційних зв'язків між морфобіологічними ознаками дослідної вибірки не виявив достовірних зв'язків, окрім середньої залежності висоти рослини і прикріплення продуктивного качана на рівні 0,328 – у 2023 р. і 0,563 – у 2024 р.

Отже, за результатами досліджень виявилась значна варіативність морфологічних параметрів рослин, які показують вплив погодних умов, генетичних особливостей та інших супутніх факторів на розвиток кукурудзи. Тривалість ознак періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів», «висота рослин» і «висота прикріплення продуктивного качана» є важливими індикаторами, які дають можливість оцінити динаміку розвитку рослин залежно від впливу зовнішніх факторів. Дослідження показали, що умови 2024 р., незважаючи на їхній стресовий характер, сприяли деяким змінам у розвитку ліній кукурудзи, зокрема, у збільшенні висоти рослин і зміні висоти прикріплення качанів.

Важливий етап добору ліній для гетерозисної селекції є його оцінка загальної комбінаційної здатності (ЗКЗ) за врожайністю зерна, як попередня умова для їх подальшого використання у комбінаціях зі специфічною здатністю (СЗ) при залученні широкого спектра компонентів [19]. Відповідна первинна оцінка лінійного матеріалу відбувається за топкросною схемою з бажаним використанням чотирьох тестерів [20]. У наших дослідженнях було залучено три сестринських гібриди плазми Ланкастер і кремений сестринський гібрид, стерильних за «С» – типом цитоплазматичної чоловічої стерильності ЦЧС. Підібрані компоненти утворюють гетерозисні моделі гібридів, поширених в Україні.

Загалом середня врожайність тестерних гібридів з використанням подвійно-гаплоїдних ліній була на рівні $5,61 \pm 0,33$ т/га. Най-

вища загальна комбінаційна здатність виявлена у тестера ДК680С×ДК3060 на рівні 0,420, а найменша у Крос350С – -0,449 (табл.

3). Утім, останній зразок мав найвищу диференціюючу здатність для ліній, яка проявилася через найвищу варіансу СКЗ – 0,389.

Таблиця 3. Загальна комбінаційна здатність врожайності зерна тестерів зразків плазми Айодент (2024 р.), т/га

Тестер	ЗКЗ*	В СКЗ**	клас
Крос350С	-0,449	0,389	3
ДК680С×ДК3060	0,420	0,241	1
Крос160С	-0,268	0,125	3
ДК2965С×ДК6318	0,165	0,058	1
НІР _{0,05}	0,141	-	-

Примітка. * – ефекти загальної комбінаційної здатності врожайності зерна, ** – варіанса специфічної комбінаційної здатності врожайності зерна.

Тестер ДК2965С×ДК6318 хоча й мав високу комбінаційну здатність (0,165), але характеризувався маскуючим ефектом через низькі показники варіанси СКЗ (0,058). Отже, серед досліджених аналізаторів (тестерів) комбінаційної здатності найбільш ефективними для оцінки подвійно-гаплоїдних ліній виявились тестери ДК680С×ДК3060 і Крос350С, що мали високу варіансу СКЗ та різний рівень власних ефектів ЗКЗ.

Аналіз рівня загальної комбінаційної здатності подвійно-гаплоїдних ліній за врожайністю зерна дозволив поділити лінії на умовні класи відносно середньої в досліді (НІР_{0,05}): 1 – оцінки ефектів ЗКЗ достовірно її перевищували; 2 – достовірно не відрізнялись від неї; 3 – достовірно нижчі (табл. 4). До першого класу віднесено 11 зразків, до другого – 20 та третього – 8. Лінія-стандарт ДК744СВ3М

Таблиця 4. Загальна комбінаційна здатність подвійно-гаплоїдних ліній плазми Айодент (2024 р.), т/га

Назва лінії	ЗКЗ	В СКЗ	клас	Назва лінії	ЗКЗ	В СКЗ	клас
ДКД 23-14	0,54	0,01	1	ДКД 23-34	0,26	0,00	2
ДКД 23-15	0,35	0,40	2	ДКД 23-35	0,73	0,32	1
ДКД 23-16	0,46	0,03	1	ДКД 23-36	0,54	0,03	1
ДКД 23-17	-1,10	0,17	3	ДКД 23-37	0,44	0,35	2
ДКД 23-18	-0,53	0,11	3	ДКД 23-38	0,40	0,15	2
ДКД 23-19	-1,70	1,23	3	ДКД 23-39	1,04	0,03	1
ДКД 23-20	-2,09	2,31	3	ДКД 23-40	0,34	0,13	2
ДКД 23-21	-1,15	0,11	3	ДКД 23-41	0,29	0,04	2
ДКД 23-22	0,56	0,48	1	ДКД 23-42	0,34	0,54	2
ДКД 23-23	-0,30	0,38	2	ДКД 23-43	0,54	0,04	1
ДКД 23-24	0,22	0,65	2	ДКД 23-44	0,31	0,55	2
ДКД 23-25	0,29	0,21	2	ДКД 23-45	0,29	0,16	2
ДКД 23-26	0,23	0,18	2	ДКД 23-46	-0,66	0,38	3
ДКД 23-27	0,06	0,36	2	ДКД 23-47	-1,06	0,34	3
ДКД 23-28	0,38	0,18	2	ДКД 23-48	-0,01	0,03	2
ДКД 23-29	0,05	0,20	2	ДКД 23-49	-0,24	0,01	2
ДКД 23-30	0,45	0,21	1	ДКД 23-50	-0,39	0,01	2
ДКД 23-31	0,96	0,07	1	ДКД 23-51	-0,44	0,07	2
ДКД 23-32	0,52	0,00	1	ДК744СВ3М	1,15	0,05	1
ДКД 23-33	-2,00	1,16	3				
НІР _{0,05}	0,44	-	-	НІР _{0,05}	0,44	-	-

Примітка. ЗКЗ – загальна комбінаційна здатність, В СКЗ – варіанса специфічної комбінаційної здатності.

віднесена до першого класу і характеризува- лась високими значеннями ЗКЗ при низькій варіансі СКЗ. Виділено перспективні зразки: ДКД 23-39, ДКД 23-31, ДКД23-35, ДКД 23-22, ДКД 23-14 з високими показниками ЗКЗ 0,54–1,04 т/га. Дослідження будуть продов- жені у 2025 р. для остаточного визначення показників комбінаційної здатності та виді- лення перспективних ліній і гібридів.

Розрахунки кореляцій виявили середню достовірну негативну залежність висоти рос- лин ліній і рівня ефектів їхньої комбінацій-

ної здатності за врожайністю зерна – -0,440, що доводить необхідність ощадливої архі- тектоніки рослин при посушливих явищах в зоні Степу.

Серед гібридів топкросної схеми ви- ділені комбінації, які мали достовірно ви- щу врожайність зерна (на 0,51–1,38 т/га) по- рівняно зі стандартом середньораннім гібри- дом кукурудзи ДБ Хотин (табл. 5). Особливу увагу привертають гібриди, отримані за уча- сті таких ліній, як ДКД 23-39, ДКД 23-31, ДКД 23-14.

Таблиця 5. Урожайність і вологість зерна під час збирання кращих тесткросів подвійно-гаплоїдних ліній

Тестер	Урожайність зерна, т/га	Вологість зерна, %
(ДК680С×ДК3060)×ДКД 23-39	7,15	10,8
(ДК680С×ДК3060)×ДКД 23-31	6,62	10,9
(ДК680С×ДК3060)×ДКД 23-14	6,69	10,3
(ДК680С×ДК3060)×ДКД 23-35	6,33	10,1
(ДК2663С×ДК2564)×ДКД 23-22	6,28	10,9
ДБ Хотин	5,77	10,3
НІР _{0,05}	0,39	0,40

Висновки. Попередні дослідження ви- користання подвійно-гаплоїдних ліній до- зволили зареєструвати і впровадити у вироб- ництво сім гібридів кукурудзи та п'ять про- ходять кваліфікаційну експертизу в Україн- ському інституті експертизи сортів рослин.

Визначені перспективні подвійно-га- плоїдні лінії плазми Айодент (ДКД 23-39, ДКД 23-31, ДКД 23-35, ДКД 23-25, ДКД 23-14) з високою комбінаційною здатністю за врожайністю зерна, які можуть бути викори- стані у селекційних програмах для створення продуктивних та адаптивних гібридів до умов північного Степу України. Найкращи- ми тестерами стосовно загальної комбіна- ційної здатності за врожайністю зерна були ДК680С×ДК3060 (0,420) та ДК2965С×ДК6318 (0,165), але кращою диференціюючою здат- ністю характеризувався тестер з низькою комбінаційною здатністю (-0,449) Крос350С (варіанса СКЗ – 0,389), це дозволило корект- но оцінити вихідний матеріал.

Виділені подвійно-гаплоїдні лінії, які цвіли раніше за стандарт ДК744СВЗМ та мали кращу стійкість до весняних холодів

(ДКД 23-18, ДКД 23-19, ДКД 23-23, ДКД 23-24, ДКД 23-31, ДКД 23-40, ДКД 23-44). Най- більш варіативною ознакою виявилась висота прикріплення продуктивного качана, кое- фіцієнт варіювання склав 25,6 і 24,3 %, від- повідно за 2023 і 2024 рр. Подвійно- гаплоїдні лінії мали оптимальні показники висоти прикріплення качана на рослині і ви- соти рослин (171,1±4,5 з коливаннями 144÷210 см, у середньому за роки випробу- вання), що свідчить про можливість їхнього використання для створення гібридів зерно- вого типу. Виявлено достовірний від'ємний зв'язок висоти рослин ліній і рівня ефектів їхньої комбінаційної здатності за врожайні- стю зерна – -0,440.

Отже, всебічна оцінка подвійно- гаплоїдних ліній плазми Айодент у стресо- вих умовах 2023 і 2024 рр. вказує на можли- вість отримання вихідного матеріалу для гетерозисної селекції кукурудзи методом матрокліної гаплоїдії. Отримані зразки за всіма параметрами не уступали інбредному стандарту ДК744СВЗМ.

Використана література

1. Altukhov Y. P. Sustainable Yield in Crop Breeding. *Journal of Agricultural Science*, 2020. Vol. 156 (3). P. 320–333.
2. Vasconcelos M. J., De Souza F. Environmental Stability and Genotype Adaptation. *Plant Breeding*. 2018. Vol. 137 (4), P. 432–445.
3. Duvick D. N. Genetic Gains in Crop Breeding. *Crop Science*. 2019. Vol. 59 (2), P. 123–140.
4. Hallauer A. R., Carena M. J. Maize Breeding for Higher Productivity. *Field Crops Research*. 2017. Vol. 205, P. 1–14.
5. Методологія створення вихідного матеріалу кукурудзи та синтезу гібридів (FAO 150-300) різних напрямків використання для умов всіх ґрунтово-кліматичних зон України: вид. друге, доопр. і допов.: Б. В. Дзюбецький, В. Ю. Черчель, А. В. Алдошин та ін. – Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2024. 98 с. DOI: 10.31867/978-617-554-366-5/01
6. Погрібний А. В., Коваль В. П., Іваненко О. М. Створення самозапилених ліній кукурудзи шляхом інбридингу. *Зернові культури*. 2016. Т. 10 (2), С. 45–56.
7. Сатарова Т. Н., Черчель В. Ю., Черенков А. В. Кукуруза: биотехнологические и селекционные аспекты гаплоидии: монография. Днепропетровск: Новая идеология, 2013. 552 с.
8. Данилюк О. М., Петренко І. А., Мельник В. П. Оцінка самозапилених ліній кукурудзи за допомогою польових випробувань і генетичних маркерів. *Генетика і селекція*. 2017. Т. 19 (1), С. 56–67.
9. Черчель В. Ю., Рябченко Е. М., Рябченко О. П. Оцінка морфобіологічних ознак і врожайності зерна подвоєних гаплоїдів кукурудзи плазми Ланкастер. *Бюлетень Інституту сільськогосподарства степової зони НААН України*. 2012. № 3. С. 11–15.
10. Золотарьова Н. І., Бондаренко П. С., Кузьменко О. В. Біотехнологічні методи прискорення створення самозапилених ліній кукурудзи. *Біологія рослин*. 2020. Т. 15 (4), С. 102–115.
11. Лісовий М. С. Використання маркер-асоційованої селекції для прискорення створення самозапилених ліній кукурудзи. *Сільськогосподарська біотехнологія*. 2018. Т. 12 (3), С. 78–88.
12. Петренко І. М., Савченко П. Л., Головченко О. С. Класифікація самозапилених ліній кукурудзи за агрономічними ознаками. *Агробіологія*. 2015. Т. 13 (2), С. 99–112.
13. Комбінований метод створення самозапилених ліній кукурудзи (науково-методичні вказівки). Б. В. Дзюбецький, М. М. Федько, Н. А. Боденко та ін. Державна установа Інститут сільського господарства степової зони НААН України. 2015. 26 с.
14. Костенко В. В., Черчель В. Ю. Адаптація методу гаплоїдії до використання його в гетерозисній селекції у кукурудзи. *Вклад наукових інвестицій у розвиток агропромислового комплексу в умовах обмеженого ресурсного забезпечення та флуктуацій клімату*: Матеріали міжнар. наук.-практ. ін-тернет-конф. молодих учених і спеціалістів (Дніпро, 16–17 березня 2023 р.) / НААН, ДУ Інститут зернових культур. Дніпро, ДУ ІЗК НААН, 2023. С. 37–38.
15. Державний Реєстр сортів рослин, придатних до поширення в Україні на 2025 рік (станом 02.04. 2025). – Київ: 2025. [Електронний ресурс] режим доступу <https://minagro.gov.ua/file-storage/reystiv-sortiv-roslin>
16. Каталог гібридів кукурудзи ДУ Інститут зернових культур НААН України (Науково-методичні рекомендації); підгот.: В. Ю. Черчель, Б. В. Дзюбецький, М. Я. Кирпа, та ін. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 2025. 70 с.
17. Рябченко Е. М., Рябченко О. П. Перспективи використання подвоєно-гаплоїдних ліній плазми Lancaster в гетерозисній селекції кукурудзи. *Роль наукових досліджень в забезпеченні процесів інноваційного розвитку аграрного виробництва України*: всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів. Дніпропетровськ, 25–26 травня 2016. С. 34–35.
18. Рябченко Е. М. Селекційна цінність подвійно-гаплоїдних ліній кукурудзи (*Zea mays* L.) генетичної плазми Ланкастер. *Бюлетень Інституту сільськогосподарства степової зони НААН України*. 2013. № 5. С. 120–124.
19. Домашнев П. П., Дзюбецький Б. В., Костюченко В. И. Селекція кукурузи. Москва: Агропромиздат, 1992. 208 с.
20. Troyer A. F. Combining ability. *Rev.* 02.03.95. 5 p.

References

1. Altukhov, Y. P. (2020). Sustainable Yield in Crop Breeding. *Journal of Agricultural Science*, 156 (3), 320–333.
2. Vasconcelos, M. J., De Souza, F. (2018). Environmental Stability and Genotype Adaptation. *Plant Breeding*, 137 (4), 432–445.
3. Duvick, D. N. (2019). Genetic Gains in Crop Breeding. *Crop Science*, 59 (2), 123–140.
4. Hallauer, A. R., Carena, M. J. (2017). Maize Breeding for Higher Productivity. *Field Crops Research*, 205, 1–14.
5. Metodolohiia stvorennia vykhidnoho materialu kukurudzzy ta syntezy hibrydiv (FAO 150-300) ryznykh napriamkiv vykorystannia dlia umov vsikh ґruntovo-klimatychnykh zon Ukrainy (vyd. druhe, doopr. i dopov.) [Methodology for creating the starting material of corn and the synthesis of hybrids (FAO 150–300) of various directions of use for the conditions of all soil and climatic zones of Ukraine (2nd ed., rev. and suppl.)]. (2024). B. V. Dziubetskyi, V. Yu. Charchel, A. V. Aldoshyn et al. Odessa: Vydavnychi dim «Helvetyka», 98 p. DOI: 10.31867/978-617-554-366-5/01 [in Ukrainian]
6. Pohribnyi, A. V., Koval, V. P., Ivanenko, O. M. (2016). Creating self-pollinated corn lines through inbreeding. *Zernovi kultury* [Grain Crops], 10 (2), 45–56. [in Ukrainian]
7. Satarova, T. N., Charchel, V. Yu., Cherenkov, A. V. *Kukuruza: biotekhnologicheskie i selektsyonnye aspekty haploidii: monohrafiya* [Maize: biotechnological and breeding aspects of haploidy: monograph]. Dnepropetrovsk: Novaya ideolohiya, 2013. [in Russian]
8. Danyliuk, O. M., Petrenko, I. A., Melnyk, V. P. (2017). Evaluation of self-pollinated corn lines using field trials and genetic markers. *Henetyka i selektsiia* [Genetics and Breeding], 19 (1), 56–67. [in Ukrainian]

9. Cherchel, V. Yu., Riabchenko, E. M., Riabchenko, O. P. (2012). Evaluation of morphobiological traits and grain yield of doubled haploids of Lancaster plasma maize. *Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy* [Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the NAAS of Ukraine], 3, 11–15. [in Ukrainian]
10. Zolotarova, N. I., Bondarenko, P. S., Kuzmenko, O. V. (2020). Biotechnological methods to accelerate the creation of self-pollinated corn lines. *Biologiya Roslyn* [Phytobiology], 15 (4), 102–115. [in Ukrainian]
11. Lisovyi, M. S. (2018). Using marker-linked selection to accelerate the creation of self-pollinated maize lines. *Silskohospodarska biotekhnologhiia* [Agricultural Biotechnology], 12 (3), 78–88. [in Ukrainian]
12. Petrenko, I. M., Savchenko, P. L., Holovchenko, O. S. (2015). Classification of self-pollinated corn lines by agronomic characteristics. *Ahrobiologhiia* [Agrobiology], 13 (2), 99–112. [in Ukrainian]
13. Kombinovanyi metod stvorennia samozapylenykh liniy kukurudzy (naukovo-metodychni vkazivky) [Combined method for creating self-pollinated corn lines (scientific and methodological guidelines)]. (2015). B. V. Dziubetskyi, M. M. Fedko, N. A. Bodencko et al. Derzhavna ustanova Instytut silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy. 26 p. [in Ukrainian]
14. Kostenko, V. V., Cherchel, V. Yu. (2023). Adaptation of the haploidy method to its use in heterosis breeding in corn. *Vklad naukovykh investytsii u rozvytok ahropromyslovoho kompleksu v umovakh obmezhenoho resursnoho zabezpechennia ta fluktuatsii klimatu: mizhnar. nauk.-prakt. internet-konf. molodykh uchenykh i spetsialistiv. Proc Contribution of scientific investments to the development of the agro-industrial complex in conditions of limited resource supply and climate fluctuations: intern. sci.-pract. online conf. of young scientists and specialists*. (pp. 37–38). March 16–17, 2023, Dnipro. [in Ukrainian]
15. Derzhavnyi Reiestr sortiv roslyn, prydatnykh do poshyrennia v Ukraini na 2025 rik (stanom 02.04.2025) [State Register of Plant Varieties Suitable for Distribution in Ukraine for 2025 (as of 02.04.2025)]. Kyiv: 2025. [[Electronic resource] access mode <https://minagro.gov.ua/file-storage/reiestr-sortiv-roslyn>] [in Ukrainian]
16. Kataloh hibrydiv kukurudzy DU Instytut zernovykh kultur NAAN Ukrainy (Naukovo-metodychni rekomendatsii) (2025). 16. Catalog of corn hybrids of the State Institution Institute of Grain Crops of the NAAS of Ukraine (Scientific and Methodological Recommendations); (Ed.: V. Yu. Cherchel, B. V. Dziubetskyi, M. Ya. Kyrpa, ta in.). Odesa: Vydavnychi dim «Helvetyka», 70 p. [in Ukrainian]
17. Riabchenko, E. M., Riabchenko, O. P. (2016). Prospects for the use of doubled-haploid lines of Lancaster plasma in heterosis breeding of corn. *Rol naukovykh doslidzhen v zabezpechenni protsesiv innovatsiinoho rozvytku ahrarnoho vyrobnytstva Ukrainy: vseukr. nauk.-prakt. konf. molodykh vchenykh i spetsialistiv. Proc The role of scientific research in ensuring the processes of innovative development of agricultural production in Ukraine: all-Ukrainian sci.-pract. conf. of young scientists and specialists* (pp. 34–35). May 25–26, 2016. Dnipropetrovsk. [in Ukrainian]
18. Riabchenko, E. M. (2013). Selection value of double-haploid lines of maize (*Zea mays* L.) of the Lancaster genetic plasma. *Biuletyn Instytutu silskoho hospodarstva stepovoi zony NAAN Ukrainy* [Bulletin of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the NAAS], 5, 120–124. [in Ukrainian]
19. Domashnev, P. P., Dzyubetskyi, B. V., Kostyuchenko, V. I. (1992). Selektsiya kukuruzy. Selection of corn. Moskva: Ahropromizdat, 208 p. [in Russian]
20. Troyer, A. F. Combining ability. *Rev.* 02.03.95. 5 p.

UDC 633.15:631.52

Cherchel, V. Yu., Kostenko, V. V. Doubled haploid lines of Iodent plasm in heterosis breeding of maize. *Grain Crops.* 2025. 9 (1). 14–22.

State Enterprise Institute of Grain Crops of the NAAS, 14, Volodymyr Vernadskyi St., Dnipro, 49009, Ukraine

Topicality. Modern maize breeding is aimed at accelerating the development of new hybrids with improved valuable economic traits. One of the most innovative methods is the haploidy method, which reduces the time required to obtain homozygous material to 1–2 years instead of 6–7 years with conventional inbreeding. However, this method requires constant improvement to increase its efficiency. **Purpose.** The study is aimed at evaluating doubled haploids of Iodent plasm maize by morphological traits, combining ability in terms of grain yield, and at selection of promising doubled haploid lines for the selection of high-yielding hybrids. **Materials and methods.** The study was conducted at the experimental field of the SE Institute of Grain Crops of NAAS in the conditions of the Northern Steppe of Ukraine in 2023–2024. Doubled-haploid lines were evaluated by the duration of growing season, plant height, productive ear insertion height, and their general combining ability in terms of grain yield. **Results.** Significant variability in morphological characteristics of doubled-haploid lines was established. Plant height varied from 144 cm to 210 cm on average, and the average duration of the period "seedlings – flowering of 50 % of ears" was 62.3±1.1 days. Lines with high general combining ability were identified, including DKD 23-39, DKD 23-31, DKD 23-35. The hybrids developed on the basis of these lines have exceeded the standards in terms of grain yield (up to 1.38 t/ha) and had low grain moisture content at harvesting (10.1–10.9 %). **Conclusions.** Promising doubled-haploid lines (DKD 23-39, DKD 23-31, DKD 23-35, DKD 23-25, DKD 23-14) with high combining ability in terms of grain yield were identified, which can be further involved in breeding programmes for the development of high-yielding and well-adapted hybrids, especially in the Northern Steppe of Ukraine.

Key words: maize, doubled haploid, hybrid, grain yield, combining ability, morphological traits