

РЕЗУЛЬТАТИВНІСТЬ МЕТОДУ ГАПЛОЇДІЇ У СЕЛЕКЦІЇ КУКУРУДЗИ

ЧЕРЧЕЛЬ В.Ю. – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік НААН
orcid.org/0000-0002-0429-4961

Державна установа Інститут зернових культур
Національної академії аграрних наук України

КОСТЕНКО В.В. – аспірант
orcid.org/0009-0005-3863-3334

Державна установа Інститут зернових культур
Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Результативність будь-якої дослідної справи в аграрній науці залежить, насамперед, від системного планування всіх складових дослідження, тобто місця проведення пошукових робіт, використаного матеріалу та методів досліджень. Селекційна наука серед усіх аграрних спеціальностей надзвичайно чутлива до коректності проведення експерименту тому, що кінцевий результат набувається через десятиріччя. Слід зазначити, що сьогодні уніфікованих загальних методик селекційного процесу не існує, але зберігаються основні принципи з організації досліджень. У послідовності селекційного процесу важливе значення мають різні ланки в яких проводять оцінку, добір, гібридизацію, інбридинг, тощо [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливим інструментом селекціонера при створенні нових сортів і гібридів є вибір методу селекції, що опирається на вирішення конкретних селекційних задач та сучасного розвитку науки. Базовий для кукурудзи інбридинго-гібридизаційний метод передбачає два етапи отримання кінцевого селекційного продукту (інбридинг і гібридизація), які пов'язані з використанням ефекту гетерозису, та визначається через випробування отриманого, завдяки запланованим схрещуванням, гібридного матеріалу [2, 3].

Традиційний метод їх створення шляхом інбридингу потребує тривалого часу (6–7 років) і значних затрат на проведення поступової гомозиготизації генотипу [4]. У даний час у практику селекційної роботи з кукурудзою широко впроваджується альтернативний метод прискореного синтезу гомозиготних ліній, вперше запропонований С. Chase [5, 6]. Він базується на виділенні з вихідних популяцій гаплоїдних рослин, їх диплоїдизації, самозапиленні і отриманні протягом одного сезону нових гомозиготних ліній. Розроблена зручна технологія з використанням матрокліної гаплоїдії [7]. Широке впровадження даного методу в селекційну практику потребувало створення маркерних генотипів-запилювачів, які б стимулювали яйцеклітину до партеногенетичного розвитку і дозволяли легко та надійно ідентифікувати зернівки з гаплоїдним зародком.

Поряд з тим безпосереднє впровадження в селекційну практику методу гаплоїдії висвітлює ряд

проблемних питань таких, як: особливості використання різних зародкових геноплазм, контроль та збереження рівня індукції гаплоїдів, удосконалення техніки ідентифікації гаплоїдних генотипів, покращення диплоїдизації, нюанси селекційної оцінки подвійних гаплоїдів.

Селекція гетерозисних культур пов'язана в основному з двома головними напрямками: створення гібридів для промислового використання та покращення генофонду вихідного матеріалу для забезпечення прогресу селекційного продукту. Відповідно їм оцінка, добір, поліпшення і впровадження селекційних досягнень здійснюється за загальноприйнятими організаційними правилами. Проте кожен окремий метод синтезу вихідного матеріалу (інбридинг, гаплоїдія, синглідз) має свої нюанси без знання яких результативність селекції може істотно знизитись [8].

Популярність методу гаплоїдії обумовлена швидким доведенням, за 2 роки, вихідних форм до гомозиготного стану. Однак прискорення процесу створення нових ліній може бути нівельовано терміном остаточної їх оцінки за господарсько-цінними ознаками. При отриманні готових подвійно-гаплоїдних ліній повністю відсутній попередній добір, який при стандартному методі створення ліній проводиться протягом всіх генерацій самозапилення (S_1 – S_7). Між тим є повідомлення, що можна проводити добір рослин вже на стадії гаплоїдів [9] та навіть вести рекурентну селекцію при запиленні стерильних гаплоїдних рослин пилом диплоїдних форм [10], чи подвійних гаплоїдів, але з іншою організацією процесу добору [11].

Виявлено, що походження вихідного матеріалу може впливати на схильність генотипів до формування гаплоїдів і їх сприйнятливості до генетичного маркування [7]. Схильність вихідного матеріалу до формування гаплоїдів може бути викликана, як морфологічними особливостями зернівки, так і генетичними чинниками. Під морфологічними особливостями зернівки в основному мали на увазі різного роду забарвлення алейронового прошарку, зародку та оплодневої ніжки зернівки, які перешкоджають коректній ідентифікації маркованого матеріалу. Такий фоновий колір часто присутній в інбредному матеріалі зародкової плазми Айодент та Рейд (SSS), що відбивається в кількісній характеристиці



подвоєних гаплоїдних ліній при використанні їх в гаплоїдії. Так, за час досліджень в ДУ ІЗК НААН, з вихідного матеріалу плазми Ланкастер отримано подвійних гаплоїдних ліній у 4 рази більше, ніж при використанні селекційного матеріалу геноплазм Айодент, Рейд (SSS) та Європейської кременистої [12, 13].

Дослідниками не раз висловлювалась гіпотеза, що в процесі селекції методом гаплоїдії відбувається не тільки добір більш схильних генотипів до індукції гаплоїдів, а й посилення здатності до утворення гаплоїдів в наступних циклах рекомбінації і доборів [14–16]. Таким чином, великий вихід подвоєно-гаплоїдних ліній пов'язаний з присутністю в гібридних комбінаціях селекційного продукту отриманого методом гаплоїдії, а також присутністю форм генетично більш схильних до гаплоїдії. За нашими дослідженнями найбільша ефективність у виділенні гаплоїдів була зафіксована у геноплазм Ланкастер та різних варіантів змішаної плазми. На базі вихідного матеріалу плазми Айодент було отримано подвійно-гаплоїдні лінії тільки після попередньої адаптації матеріалу до цього методу, а також підвищення навиків персоналу стосовно ідентифікації умовно гаплоїдних зерен. Слід зазначити, що припущення, відносно виявлення серед гібридів створених на базі подвійних гаплоїдів високої схильності до утворення гаплоїдів при схрещуванні з індуктором, не підтвердилось рядом експериментів [17]. Тобто зниження врожайності таких гібридів у виробничих умовах за рахунок збільшення числа гаплоїдних рослин мало ймовірно та експериментально не доведено.

Отже, важливим питанням утримання темпів селекції при використанні методу гаплоїдії, оптимальна організація усіх ланок створення, оцінки і впровадження селекційного продукту, яка дозволить реально скоротити час на синтез комерційних гібридів кукурудзи.

Мета. Дослідження спрямоване на оптимізацію процесу отримання і вивчення подвійних гаплоїдів кукурудзи за морфологічними ознаками, комбінаційною здатністю за врожайністю зерна у гетерозисній селекції. Виявлення перспективних шляхів прискорення синтезу високоврожайних гібридів, придатних для поширення в Україні.

Матеріали та методи. Польові дослідження заклали в спеціальних сівозмінках на експериментальній базі Державної установи Інститут зернових культур НААН. Розсадник випробування у трипільній: «горох–озимий ячмінь–кукурудза». Товщина гумусового горизонту становить 40 см, а вміст гумусу в орному шарі за полями і роками коливався від 4,08 до 4,45%. За багаторічними даними Дніпропетровського регіонального ЦГМ, середня річна температура повітря Дніпровського району 9,5 °С. Кількість опадів за рік коливається в межах 490–530 мм та тривалість без морозного періоду 165–170 діб.

Погодні умови років досліджень (2022–2025 рр.) аналізували з квітня по вересень, виходячи з тривалості вегетації від сівби до збирання цієї культури. Оптимальні строки сівби для кукурудзи у цьому регіоні третя декада квітня – перша травня. Конкурсне випробування висівали 15.05.2022 р., 12.05.2023 р., 11.05.2024 р. та

19.05.2025 р., збирання проводили 17–18.10.2022, 30.09–01.10.2023, 27.09.2024 р. та 28–29.09.2025 р. Розмір ділянок у конкурсному розсаднику становив 9,8 м², повторність трикратна. Середня температура повітря у роки досліджень за вегетаційний період була вища за норму на 0,2; 0,9; 3,2; 0,9 °С, відповідно при середній багаторічній 18,0 °С. Утім, кількість опадів була меншою на 62,9; 40,6; 175,2 та 165,5 мм за середню багаторічну (288 мм). Тобто можна констатувати, що роки досліджень були посушливі і спекотні зі значним недобором опадів, але 2022, 2023 і 2024 рр., завдяки сприятливому їх розподілу виявились достатньо продуктивними в конкурсному випробуванні врожайність зерна становила в середньому 6,6, 8,86 і 6,00 т/га, відповідно. Проте, 2025 р. характеризувався як екстремально посушливий, а середня врожайність конкурсного випробування була найменша за всю історію спостережень – 1,50 т/га. Тому до аналізу врожайності зерна гібридів кукурудзи 2025 р. не залучався через нівелюючий фон року.

Агротехнічні заходи проводили згідно загальноприйнятої методики [21]. Догляд за посівами включав до сходове боронування та міжрядну культивування, застосовували ґрунтовий гербіцид Загрей (4,5 л/га). Густота стояння рослин кукурудзи у конкурсному розсаднику 60 тис. рослин на га.

Загальну статистичну обробку експериментальних даних проводили за Л.О. Атраментової [22, 23]; варіювання селекційних ознак ліній визначали за «Визначником морфологічних ознак сортів кукурудзи (*Zea mays* L.)» та «Класифікатором-довідником виду *Zea mays* L.» [24, 25]. Математичні та статистичні розрахунки виконували на персональному комп'ютері з використанням спеціальних прикладних програм Microsoft Office Excel.

Результати досліджень. Впровадження методу гаплоїдії в Україні відбувається повільно і фактично єдина селекційна установа ДУ ІЗК НААН має реальні результати і комерціалізацію цього продукту. Утім, у світі цей метод стає головним, та створює ринок відповідних послуг у створенні вихідного матеріалу. Завдяки тривалій роботі селекційною групою інституту сформовано робочу колекцію подвійних гаплоїдів яка в останні роки щорічно складає 450–700 ділянок селекційного розсадника, де відбувається оцінка і добір кращих зразків. Колекція постійно оновлюється і поповнюється. Метод гаплоїдії та інбридинг перетинаються у програмах селекції кукурудзи ДУ ІЗК НААН і вже є лінії які створені на базі подвійних гаплоїдів через інбридинг. Тобто ці методи разом спрямовані на отриманні вихідного матеріалу і доповнюють одне одного. На сьогодні зареєстровано 7 гібридів кукурудзи до складу яких входили подвійні гаплоїди: ДН Аджамка, ДН Булат, ДН Віта, ДБ Варта, ДН Славиця, ДЗ Спалах і ДН Ейрена та передано ще 5 [18, 19].

Остаточна оцінка кращих гібридів з використанням подвійних гаплоїдів відбувається у конкурсному випробуванні, а первинна починається з контрольного розсадника (1–2 роки) і попереднього випробування (1–2 роки). Всього у конкурсному випробуванні протягом 2022–2025 рр. вивчалися від 678 до 812 гібридів різних

груп стиглості серед яких були представлені гібриди, що містили у складі подвійні гаплоїди від 71 до 76 зразків, тобто 8,7–10,9 %, від загальної кількості (табл. 1).

Найбільша частота гібридів з подвійними гаплоїдами виявлена у середньостиглій групі стиглості, кількість яких коливалась від 11,0 до 18,0%, найменша у середньопізній від 1 до 5 гібридів. Відповідна особливість пов'язана передусім з успіхами у створенні такого матеріалу плазми Ланкастер[20], яка є основною гетерозисною групою для середньоранніх і середньопізніх гібридів. Слід відмітити, що у 2024–2025 рр. значно збільшилось кількість гібридів на базі подвійно-гаплоїдних ліній у ранньостиглій групі, які відповідно становили 21,4 і 25,4%. Збільшення зразків, які отримані методом гаплоїдії у цій групі пояснюється через використання нового матеріалу змішаної плазми через залучення ранньостиглих комерційних гібридів. Завдяки чому отримані подвійні гаплоїди ДКД99113СЗМ і ДКД9175МВСВ. Тобто селекційні програми з використанням методу гаплоїдії отримали значний розвиток у ДУ ІЗК НААН, але нажалі їхній обсяг і темпи ще не відповідають європейської і американської практики при створенні гібридів кукурудзи.

Аналіз врожайності зерна гібридів конкурсного випробування показав, що середні показники як за групами стиглості, так і середні загалом по виборці мали кращі показники за середню врожайність зерна гібридів на базі подвійних гаплоїдів (табл. 2).

Загалом гібриди з використання подвійних гаплоїдів показали нижчу врожайність у 2022 р. на 0,08 т/га, а за групами спостерігалось коливання 0,10; 0,29; 0,19; 0,08 т/га. У більш сприятливий 2023 р. відповідна різниця збільшилась до 0,29 т/га та за групами 0,15; 0,40; 0,40; 0,52 т/га. Утім, у стресовий 2024 р. загальна середня була більша на 0,23 т/га, а за групами навіть спостерігались кращі показники для гібридів на базі подвійних

гаплоїдів для ранньостиглої на 0,05 т/га, а для середньоранньої – 0,16 т/га. Проте, у середньостиглій і середньопізній групах середня врожайність таких гібридів була меншою на 0,18 і 1,24 т/га, відповідно.

Поясненням низької врожайності гібридів кукурудзи створених на базі подвійних гаплоїдів може бути декілька. По-перше, недостатня попередня оцінка такого вихідного матеріалу, а зазвичай такі зразки попадають у конкурсне випробування раніше ніж гібриди з інбредними лініями, що викликано тривалою гомозиготизацією і різними додатковими оцінками. По-друге, у конкурсному випробуванні ще не сформовано переважного пулу гібридів з подвійними гаплоїдами, що не забезпечує достовірного порівняння і конкурентного добору зі зразками, що містять інбредні лінії. Отже, сформоване різноманіття подвійних гаплоїдів у селекційній програмі ДУ ІЗК НААН потребує подальшого розвитку щодо визначення базових пріоритетів у створенні вихідного матеріалу.

За результатами досліджень конкурсного випробування у 2023 і 2024 рр. виділено 12 гібридів кукурудзи створених на базі подвійних гаплоїдів, що виявили найкращі показники за врожайністю зерна (табл. 3). Слід зазначити, що серед представлених гібридів два створені виключно на базі подвійних гаплоїдів ДКД3023МВ×ДКД5171СВЗМ і ДКД3976М×ДКД3023МВ (ДН Ейрена). Загалом, усі виділені гібриди кукурудзи належали до середньостиглої групи, окрім ранньостиглого (ДК7443М×ДК7455СВЗМ)×ДКД9911 3СЗМ і середньораннього ДК3938МВ×ДКД9175МВСВ.

Порівняння із середньостиглим стандартом ДН Сармат у сприятливому 2023 р. виявило 4 комбінації, які достовірно були кращими на 0,46–0,73 т/га. У більш стресовий 2024 р. таких комбінацій виявилось 7 – на 0,47–1,02 т/га. Утім, ранньостиглий гібрид (ДК7443М × ДК7455СВЗМ) × ДКД9911 3СЗМ показав достовірно кращі

Таблиця 1

Використання подвійних гаплоїдів у гібридах кукурудзи конкурсного випробування ДУ ІЗК НААН

Група стиглості	2022 р.		2023 р.		2024 р.		2025 р.	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Ранньостиглі	88	11	82	7	84	18	118	30
Середньоранні	201	15	258	15	316	13	302	9
Середньостиглі	393	43	267	48	354	39	272	32
Середньопізні	69	5	71	4	59	1	70	5
Всього	751	74	678	74	812	71	762	76

Примітка: 1 – загальна кількість гібридів, шт.; 2 – кількість гібридів з використанням подвійних гаплоїдів, шт.

Таблиця 2

Середня врожайність зерна гібридів кукурудзи у порівнянні зі зразками, що містять подвійні гаплоїди, т/га

Група стиглості	2022 р.		2023 р.		2024 р.	
	1	2	1	2	1	2
Ранньостиглі	6,45	6,35	8,86	8,71	6,32	6,37
Середньоранні	6,59	6,30	8,61	8,21	6,20	6,36
Середньостиглі	6,54	6,35	8,99	8,59	5,75	5,57
Середньопізні	7,15	7,07	9,31	8,79	6,02	4,78
Всього	6,60	6,52	8,86	8,57	6,00	5,77
Довірчий інтервал $\pm t_{s(x)}$	0,06	0,20	0,07	0,23	0,06	0,21

Примітка: 1 – урожайність зерна за групами; 2 – урожайність зерна гібридів, що містять подвійні гаплоїди.

Таблиця 3

Урожайність кращих гібридів кукурудзи конкурсного випробування, що створені на базі подвійних гаплоїдів

		2023 р.		2024 р.		Середнє	
		1	2	1	2	1	2
1	ДК2663С × ДКД5171СВ3М	10,35	15,0	6,52	6,9	8,44	10,9
2	(ДК2966С × ДКД3023МВ) × ДК7444СВ3М	10,29	15,0	6,41	9,2	8,35	12,1
3	ДК7744СВ3М × ДКД3074МВ	10,56	14,2	5,85	8,4	8,20	11,3
4	(ДК2966С × ДКД3023МВ) × ДКД3976СВ3М	9,87	14,0	6,49	8,8	8,18	11,4
5	(ДК3636М × ДК3643СВ3М) × ДКД3074МВ	10,38	13,4	5,87	9,0	8,12	11,2
6	(ДК4315М × ДКД3153СВ3М) × ДК3060МВ	9,31	11,3	6,71	9,1	8,01	10,2
7	(ДКД3153М × ДК3511СВ3М) × ДК3060МВ	8,99	12,6	6,64	8,3	7,81	10,4
8	(ДК7443М × ДК7455СВ3М) × ДКД99113С3М	8,80	9,9	6,81	9,1	7,81	9,5
9	ДКД3023МВ × ДКД5171СВ3М	8,63	13,7	6,04	6,9	7,33	10,3
10	ДК3773М × ДКД3023МВ	8,59	17,1	5,97	9,7	7,28	13,4
11	ДК3938МВ × ДКД9175МВСВ	7,39	9,7	6,60	8,7	7,00	9,2
12	ДКД3976М × ДКД3023МВ (ДН Ейрена)	7,60	13,9	5,77	7,3	6,69	10,6
	ДБ Тирас стандарт	8,36	9,0	6,35	10,5	7,36	9,8
	ДБ Хотин стандарт	8,57	13,1	6,44	9,2	7,51	11,2
	ДН Сармат стандарт	9,83	16,0	5,50	10,5	7,67	13,3
	НІР0,05	0,45	0,7	0,38	0,4	-	-

Примітка: 1 – урожайність зерна, т/га; 2 – вологість зерна під час збирання, %

показники за врожайністю зерна у 2024 р. на 0,46 т/га, а середньоранній у цей ж рік ДК3938МВ×ДКД9175МВСВ дорівнював стандарту ДБ Хотин. За вологістю зерна під час збирання виділена вибірка, в основному, мала нижчі показники або була близькою стандартам. Слід зазначити, у стресовий 2024 р. скоростиглі генотипи мали перевагу за врожайністю зерна, як більш ощадні щодо використання води. Відповідна тенденція залишалася і по стандартам, середньостиглий гібрид ДН Сармат мав найнижчу врожайність зерна у 2024 р. (5,50 т/га), а у 2023 р. – найбільшу (9,83 т/га).

Висновки. Метод гаплоїдії у селекційній програмі ДУ ІЗК НААН став базовим інструментом синтезу нового вихідного матеріалу. Кількість гібридів які містять подвійні гаплоїди у конкурсному випробуванні за роки досліджень складала від 8,7 до 10,9 % та висвітлює відповідну частку в селекційному процесі програми інституту. Утім, швидке отримання значної кількості гомозиготних ліній (подвійних гаплоїдів) створює проблеми якісної оцінки нових зразків. Дані конкурсного випробування визначили нижчу конкурентну здатність гібридів створених із залученням подвійних гаплоїдів, зокрема через меншу середню врожайність зерна на 0,08–0,29 т/га за роками досліджень. Аналіз вибірки кращих гібридів кукурудзи з подвійних гаплоїдів конкурсного випробування виявив комбінації які достовірно перевищували стандарти за групами стиглості у сприятливий 2023 р. – 4, а стресових 2024 р. – 8. Отже, результативність методу гаплоїдії у гетерозисній селекції залежить від створення відповідної методології широкого оцінювання подвійних гаплоїдів яка б не гальмувала селекційний процес і не втрачала темпи запланованого прискорення у синтезі вихідного матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Інноваційні підходи у створенні, адаптації та оцінці вихідного матеріалу кукурудзи на стрес толерантність : видання друге, доопрацьоване і доповнене / Б.В. Дзюбецький, В.Ю. Черчель, А.В. Алдошин, Н.А. Боденко. Вінниця : ТОВ «Твори», 2026. 52 с. <https://doi.org/10.31867/2026.03.12.01-52/022>.
- Черчель В. Ю., Стасів О. Ф. Філософія української селекції кукурудзи. *Агробізнес сьогодні*. 2020. № 23(438). С. 30-34.
- Dziubetskyi B.V., Bodenko N.A., Cherchel V.Yu., Stasiv O.F., Denysiuk K.V., Satarova T. M. Standard method in production of maize inbreds of Lancaster germplasm. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. № 10(6). Р. 88–93. https://doi.org/10.15421/2020_263.
- Методологія створення вихідного матеріалу кукурудзи та синтезу гібридів (ФАО 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, Н.А.Боденко. Одеса : Видавничий дім «Гельветика», 2024. 98 с. <https://doi.org/10.31867/978-617-554-366-5/01>.
- Chase S.S. The monoploid method of developing inbred lines. *Proc. 6 Annual Hybrid Corn Industry Research Conf.* 1951. P.29–34.
- Chase S.S. Monoploids and monoploid derivatives of maize (*Zea mays* L.). *Bot. Rev.* 1969. Vol. 35. № 2. P. 117–168.
- Дзюбецький Б.В., Черчель В.Ю., Сатарова Т.М. Прискорення отримання гомозиготних ліній методом генетичного маркування. *Таврійський науковий вісник*. 2004. № 30. С. 24–31.
- Комбінований метод створення самозапилених ліній кукурудзи : науково-методичні вказівки / Б. В. Дзюбецький, М. М. Федько, Н.А. Боденко та ін. Дніпро: Державна установа Інститут сільського господарства степової зони НААН України, 2015. 26 с.

9. Prasanna B.M., Chaikam V., Mahuku G. Doubled haploid technology in maize breeding: Theory and practice. Mexico, CIMMYT, DF, 2012. P. 312–320.
10. Chen Y., Chao Q., Tan G. Identification and fine-mapping of a major QTL conferring resistance against head smut in maize. *Theor Appl Genet.* 2008. № 117(8). P. 1241–1252. DOI:10.1007/s00122-008-0858-4
11. Rotarencu V., Chalyk S., Eder J. Utilizzazione di piante aploidi di mais in una procedura di selezione ricorrente. *Genetics and Breeding.* 2004. V. 58. P. 61–72.
12. Gallais A., Bordes J. The use of doubled haploids in recurrent selection and hybrid development in maize. *Crop Sci.* 2007. Vol. 47. P. 190–201.
13. Рябченко Е. М. Селекційна цінність подвійно-гаплоїдних ліній кукурудзи (*Zea mays* L.) генетичної плазми Ланкастер. *Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України.* 2013. № 5. С. 120–124.
14. Denysiuk K. V., Satarova T. M., Cherchel V. Y., Dziubetskyi B. V., Soudek P., Kruhlova M. O. Analysis of DNA single-nucleotide polymorphism in maize inbreds with different degrees of sensitivity to head smut (*Sporisorium reilianum*). *Agricultural Science and Practice.* 2025. № 12(1). P. 63–72. <https://doi.org/10.15407/agrisp12.01.063>.
15. Coe E.H. A line of maize with high haploid frequency. *Am. Nat.* 1959. Vol.93. P.381–382.
16. Sarkar K.R. Genetic selection techniques for the production of haploids in plants. Haploids in higher plants. *Advances and potential : Proc. 1st Int. Symp.* Guelph, Canada, 1974. P. 33–42.
17. Zabirowa E. R. Line 613/2 as a source of a high frequency of spontaneous diploidization in corn. *Maize Genet. Coop. Newslet. Columbia. Missouri.* 1993. № 67. P. 67.
18. Tyrnov V.S. The occurrence of matroclinal haploids among lines of haploid origin produced with use of pollen haploinductors. *Maize Genet. Coop. Newslet. Columbia. Missouri.* 2005. №79. P.42.
19. Черчель В. Ю., Костенко В. В. Подвійно-гаплоїдні лінії плазми Айодент у гетерозисній селекції кукурудзи. *Зернові культури.* 2025. Т. 9. № 1. С. 14–22. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0356>
20. 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.
21. Костенко В. В. Характеристика подвійно-гаплоїдних ліній кукурудзи плазми Ланкастер за основними господарсько-цінними ознаками. *Зернові культури.* 2026. Т. 10. №1. С. 73–82. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0411>.
2. Dziubetskyi, B. V., Bodenko, N. A., Cherchel, V. Yu., Stasiv, O. F., Denysiuk, K. V., & Satarova, T. M. (2020). Standard method in production of maize inbreds of Lancaster germplasm. *Ukrainian Journal of Ecology,* 10(6), 88–93. https://doi.org/10.15421/2020_263 [in Ukrainian].
4. Dziubetskyi, B. V., Cherchel, V. Yu., Aldoshyn, A. V., & Bodenko, N. A. (2024). Metodolohiia stvorennia vykhidnoho materialu kukurudzy ta syntezyu hibrydiv (FAO 150–300) riznykh napriamkiv vykorystannia dlia umov vsikh gruntovo-klimatychnykh zon Ukrainy [Methodology for developing maize breeding material and synthesizing hybrids (FAO 150–300) for different uses under all soil and climatic zones of Ukraine]. (2nd ed., rev. & enl.). Odesa: Vydavnychiy Dim "Helvetyka". <https://doi.org/10.31867/978-617-554-366-5/01> [in Ukrainian].
5. Chase, S. S. (1951). The monoploid method of developing inbred lines. *Proceedings of the 6th Annual Hybrid Corn Industry Research Conference,* 29–34.
6. Chase, S. S. (1969). Monoploids and monoploid derivatives of maize (*Zea mays* L.). *The Botanical Review,* 35(2), 117–168.
7. Dziubetskyi, B. V., Cherchel, V. Yu., & Satarova, T. M. (2004). Pryskorennia otrymannia homozyhotnykh linii metodom henetychnoho markuvannia [Acceleration of homozygous line production by genetic marking]. *Tavriyskiy Naukovy Visnyk,* 30, 24–31 [in Ukrainian].
8. Dziubetskyi, B. V., Fedko, M. M., & Bodenko, N. A. (2015). Kombinovanyi metod stvorennia samozapylenykh linii kukurudzy [Combined method for developing maize inbred lines]. Dnipro: Derzhavna Ustanova Instytut Silskoho Hospodarstva Stepovoi Zony NAAN Ukrainy [in Ukrainian].
9. Prasanna, B.M., Chaikam, V., & Mahuku, G. (2012). Doubled haploid technology in maize breeding: Theory and practice. Mexico, CIMMYT, DF, P. 312–320.
10. Chen, Y., Chao, Q., & Tan, G. (2008). Identification and fine-mapping of a major QTL conferring resistance against head smut in maize. *Theor Appl Genet,* 117(8), 1241–1252. <https://doi.org/10.1007/s00122-008-0858-4>.
11. Rotarencu, V., Chalyk, S., & Eder, J. (2004). Utilizzazione di piante aploidi di mais in una procedura di selezione ricorrente. *Genetics and Breeding,* 58, 61–72.
12. Gallais, A., & Bordes, J. (2007). The use of doubled haploids in recurrent selection and hybrid development in maize. *Crop Sci.,* 47, 190–201.
13. Riabchenko, E. M. (2013). Selektiina tsinnist podviino-haploidnykh linii kukurudzy (*Zea mays* L.) henetychnoi plazmy Lancaster [Breeding value of doubled haploid maize (*Zea mays* L.) lines of Lancaster germplasm]. *Biuletyn Instytutu Silskoho Hospodarstva Stepovoi Zony NAAN Ukrainy,* 5, 120–124 [in Ukrainian].
14. Denysiuk, K. V., Satarova, T. M., Cherchel, V. Y., Dziubetskyi, B. V., Soudek, P., & Kruhlova, M. O. (2025). Analysis of DNA single-nucleotide polymorphism in maize inbreds with different degrees of sensitivity to head smut (*Sporisorium reilianum*). *Agricultural Science and Practice,* 12(1), 63–72. <https://doi.org/10.15407/agrisp12.01.063>
15. Coe, E. H. (1959). A line of maize with high haploid frequency. *The American Naturalist,* 93, 381–382.
16. Sarkar, K. R. (1974). Genetic selection techniques for the production of haploids in plants. In *Haploids in Higher Plants: Advances and Potential. Proceedings of the First International Symposium,* 33–42.

REFERENCES:

1. Dziubetskyi, B. V., Cherchel, V. Yu., Aldoshyn, A. V., & Bodenko, N. A., (2026). Innovatsiini pidkhody u stvorenni, adaptatsii ta otsinti vykhidnoho materialu kukurudzy na stres tolerantnist [Innovative approaches to the creation, adaptation and evaluation of maize breeding material for stress tolerance]. (2nd ed., rev. & enl.). TOV "Tvory". <https://doi.org/10.31867/2026.03.12.01-52/022> [in Ukrainian].
2. Cherchel, V. Yu., & Stasiv, O. F. (2020). Filosofiia ukrainskoi seleksii kukurudzy [The philosophy of Ukrainian maize breeding]. *Ahrobiznes Sohodni,* 23(438), 30–34 [in Ukrainian].

17. Zabirowa, E. R. (1993). Line 613/2 as a source of a high frequency of spontaneous diploidization in corn. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, 67, 67.
18. Tymov, V. S. (2005). The occurrence of matroclinal haploids among lines of haploid origin produced with use of pollen haploinductors. *Maize Genetics Cooperation Newsletter*, 79, 42.
19. Cherchel, V. Yu., & Kostenko, V. V. (2025). Podviino-haploidni linii plazmy lodent u heterozysnii selektsii kukurudzy [Doubled haploid lines of the lodent germplasm in heterotic maize breeding]. *Zernovi Kultury*, 9(1), 14–22. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0356> [in Ukrainian].
20. Cherchel, V. Yu., Dziubetskyi, B. V., & Kyrpa, M. Ya. (2025). Katalog hibrydiv kukurudzy DU Instytut zernovykh kultur NAAN Ukrainy [Catalogue of maize hybrids of the State Institution Institute of Grain Crops of the NAAS of Ukraine]. Odesa: Vydavnychi Dim "Helvetyka" [in Ukrainian].
21. Kostenko, V. V. (2026). Kharakterystyka podviino-haploidnykh linii kukurudzy plazmy Lancaster za osnovnymy hospodarsko-tsinnymy oznakamy [Characteristics of doubled haploid maize lines of Lancaster germplasm according to the main agronomic traits]. *Zernovi Kultury*, 10(1), 73–82. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0411> [in Ukrainian].

Черчель В.Ю., Костенко В.В. Результативність методу гаплоїдії у селекції кукурудзи

Мета. Дослідити ефективність використання методу подвійних гаплоїдів у гетерозисній селекції кукурудзи, оцінити особливості створення, добору та випробування нового вихідного матеріалу, а також визначити перспективи прискорення синтезу високопродуктивних гібридів, адаптованих до умов України. **Методи.** Дослідження проведено у 2022–2025 рр. на експериментальній базі Державної установи Інститут зернових культур НААН. Польові дослідження виконували за загальноприйнятими методиками із триразовою повторністю. Об'єктами досліджень були подвійно-гаплоїдні лінії та створені за їх участю гібриди кукурудзи різних груп стиглості. Оцінювання здійснювали за морфологічними ознаками, врожайністю зерна, комбінаційною здатністю та показниками вологості зерна під час збирання. Статистичну обробку результатів проводили із застосуванням методів варіаційної статистики та програм Microsoft Excel. **Результати.** Встановлено, що метод гаплоїдії став одним із ключових напрямів формування вихідного матеріалу в селекційній програмі. Частка гібридів, створених за участю подвійних гаплоїдів, у конкурсному випробуванні становила 8,7–10,9%. Найбільшу їх кількість виявлено у середньостиглій групі, тоді як у ранньостиглій простежено тенденцію до зростання завдяки використанню нового селекційного матеріалу змішаних геноплазм. У середньому гібриди на базі подвійних гаплоїдів поступалися загальній вибірці за врожайністю на 0,08–0,29 т/га, що пов'язано з недостатньою попередньою оцінкою нового вихідного матеріалу. Водночас у конкурсному випробуванні виділено низку гібридів, які достовірно перевищували стандарти за врожайністю, особливо в умовах стресового 2024 року, що підтверджує високий потенціал окремих подвійно-гаплоїдних

ліній. **Висновки.** Метод подвійних гаплоїдів забезпечує суттєве скорочення термінів отримання гомозиготного вихідного матеріалу та розширює можливості гетерозисної селекції кукурудзи. Водночас ефективність його практичного використання значною мірою залежить від удосконалення системи комплексної оцінки новостворених ліній і оптимізації селекційного процесу. Розроблення методології прискореного оцінювання подвійних гаплоїдів сприятиме підвищенню результативності селекційних програм і створенню конкурентоспроможних високоврожайних гібридів кукурудзи.

Ключові слова: кукурудза, селекція, метод гаплоїдії, подвійний гаплоїд, гібрид, урожайність зерна, конкурсне випробування.

Cherchel V.Yu., Kostenko V.V. The effectiveness of the haploidy method in corn breeding

Purpose. To evaluate the effectiveness of the doubled haploid (DH) method in maize heterosis breeding, to investigate the features of developing, selecting, and testing new breeding material, and to identify promising approaches for accelerating the development of high-yielding hybrids adapted to the environmental conditions of Ukraine. **Methods.** The research was conducted during 2022–2025 at the experimental station of the State Institution Institute of Grain Crops of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine. Field experiments were carried out using standard agronomic and breeding methodologies with three replications. The study involved doubled haploid lines and maize hybrids of different maturity groups developed with their participation. The breeding material was evaluated for morphological traits, grain yield, combining ability, and grain moisture at harvest. Statistical analyses were performed using methods of variation statistics and Microsoft Excel software. **Results.** The study demonstrated that the doubled haploid method has become one of the principal approaches for developing source breeding material within the breeding program. The proportion of hybrids developed using doubled haploid lines in competitive variety trials ranged from 8.7% to 10.9%. The highest proportion was observed in the mid-maturity group, whereas the early-maturity group showed a steady increase due to the incorporation of new breeding material from mixed germplasm. On average, hybrids developed from doubled haploid lines yielded 0.08–0.29 t ha⁻¹ less than the overall trial mean, primarily because of the insufficient preliminary evaluation of newly developed breeding material. At the same time, several hybrids significantly outperformed the commercial standards in grain yield, particularly under the stressful environmental conditions of 2024, confirming the high breeding potential of individual doubled haploid lines. **Conclusions.** The doubled haploid method substantially reduces the time required to obtain completely homozygous breeding material and significantly expands the opportunities for maize heterosis breeding. However, its practical efficiency largely depends on improving the comprehensive evaluation system for newly developed lines and optimizing the breeding process. The development of an accelerated methodology for assessing doubled haploid lines will enhance the efficiency of breeding programs and facilitate the creation of competitive, high-yielding maize hybrids.

Key words: maize, breeding, haploidy method, doubled haploid, hybrid, grain yield, competitive trial.

Дата першого надходження статті до видання: 10.07.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 23.09.2026