

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ГЕТЕРОЗИСНОЇ МОДЕЛІ СЕРЕДНЬОСТИГЛИХ ГІБРИДІВ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ

Ю. Ю. Купар, Б. В. Дзюбецький, В. Ю. Черчель, М. С. Ольховик

Державна установа Інститут зернових культур НААН, вул. Володимира Вернадського, 14, м. Дніпро, 49009, Україна

Актуальність. Нині орієнтування на певні гетерозисні моделі дозволяє більш ефективно використовувати вихідний матеріал із робочої колекції. Інформація про переваги різних гетерозисних моделей в певних ареалах вирощування полегшує роботу пошуку вдалих комбінацій та при доборі перспективного вихідного матеріалу. **Визначення проблеми.** Ідентифікація найбільш перспективних гетерозисних моделей гібридів кукурудзи, отриманих за участі ліній різних генетичних плазм, які б характеризувалися високою врожайністю та низькою збиральною вологістю зерна порівняно з гібридами-стандартами, адаптованими до умов вирощування північного Степу. **Мета.** Визначити господарську цінність гібридів кукурудзи, створених за участі ліній різних зародкових плазм та найбільш перспективні гетерозисні моделі для кожної групи геноплазм, дослідити вплив умов вирощування рослин на господарсько-цінні показники гібридів залежно від їх генетичного походження. **Матеріали і методи.** Візуальний – фенологічні спостереження; лабораторно-польовий – визначення морфо-біологічних ознак рослин; вимірювально-ваговий – визначення врожайності та метричних ознак рослин; математично-статистичні – визначення достовірності результатів, показників варіабельності ознак, кореляційної залежності ознак; дисперсійний аналіз; комплексне оцінювання морфо-біологічних та господарсько-цінних характеристик інбредних ліній та гібридів за їх участі різних генетичних плазм. **Результати.** Установлено, що тесткриси, створені за моделлю Lancaster × Iodent, відзначились найбільшою стабільністю відносно врожайності зерна, проте у середньому за три роки досліджень найвищий її середній рівень (6,31 т/га) зафіксовано у тесткрисів типу Змішана × Lancaster. Виділено тесткриси: ДК3044 × ДК315, ДК3151 × ДК4454, ДК3151 × ДК3155 та ДК365 × ДК6356 з врожайністю зерна 8,0; 7,59; 7,18; 7,17 т/га відповідно вищою порівняно з гібридами-стандартами. Найкраще співвідношення врожайності до вологості зерна (індекс урожайності $R_{Н/М}$) відзначено у гібридних комбінацій Lancaster × Змішана. **Висновки.** Визначено кращі тесткриси за співвідношенням врожайності до вологості зерна ДК315 × ДК3821 (Змішана × BSSS) – 0,51; ДК633/325 × ДК365 (Змішана × Iodent) – 0,51, ДК365 × ДК6356 (Iodent × Lancaster) – 0,51; ДК3044 × ДК315 (Lancaster × Змішана) – 0,56, ДК3151 × ДК3155 (BSSS × Змішана) – 0,55, ДК633/325 × ДК3155 (Lancaster × Змішана), які використовуються як базові при селекції середньостиглих гібридів кукурудзи, адаптованих до умов Степу України.

Ключові слова: кукурудза, гібрид, лінія, зародкова плазма, гетерозисна модель, тесткрис, урожайність та вологість зерна під час збирання.

Вступ. Сучасний генофонд кукурудзи сформований завдяки тривалому циклічному поліпшенню вихідного матеріалу. Перед-

умовою вдалої гетерозисної селекції є визначення ефективних моделей гібридів, що забезпечує формування альтернативних груп

Інформація про авторів:

Купар Юлія Юрївна, канд. с.-г. наук, завідувачка лаб. селекції скоростиглих гібридів кукурудзи, e-mail: yliya.311285@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8637-2304>

Дзюбецький Борис Володимирович, доктор с.-г. наук, професор, академік НААН, завідувач відділом селекції, e-mail: inst_zerna@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-2955-232X>

Черчель Владислав Юрїйович, доктор с.-г. наук, член-кореспондент, старший науковий співробітник, директор, e-mail: vladcherh@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0002-0429-4961>

Ольховик Максим Станіславович, науковий співробітник лаб. фізіології рослин та методів селекції, e-mail: maksimusgall@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0002-7244-6090>

ліній так званих «зародкових плазм». Термін «зародкова плазма» введений для зручності досліджень у гетерозисній селекції, та передбачає об'єднання значної кількості споріднених генотипів, які мають спільне філогенетичне походження, тобто, започатковані від одного вихідного сорту [1–4].

У сучасних умовах ефективно ведення селекції гібридної кукурудзи неможливе без глибокого розуміння та осмислення генофонду вихідного матеріалу, історії його розвитку, основних джерел зародкової плазми, сучасних тенденцій використання та синтезу нових рекомбінацій гетерозисних груп [5].

Відомо, що продуктивність гібридів кукурудзи формується завдяки оптимізації ефекту гетерозису [6], який вперше був описаний ще на початку минулого століття Е. М. East [7] і G. H. Shull [8]. Поточне зростання врожаю зерна відбувається завдяки покращанню генетичної складової селекційного матеріалу і прогресу, досягнутого в агрономічній практиці [9].

Головна мета селекції кукурудзи – це створення нових сучасних високопродуктивних гібридів, які б за своїми господарсько-цінними ознаками істотно перевищували стандарти та були добре адаптовані до умов зони вирощування. Основними господарсько-цінними ознаками, які характеризують комерційну привабливість гібридів кукурудзи є стабільна врожайність та вологість зерна при збиранні [10–13].

Генетична різноманітність вихідного матеріалу є основою для досягнення успіху в усіх селекційних програмах по кукурудзі, які засновані на виявленні і використанні альтернативних груп, що утворюють гетерозисні моделі «Heterotic Patterns» [14].

Орієнтування на певні гетерозисні моделі дозволяє більш ефективно використовувати вихідний матеріал. Незважаючи на умовність відповідного групування, все-таки навіть неповна інформація про переваги різних гетерозисних моделей в певних ареалах вирощування полегшує пошук вдалих комбінацій та добір перспективного вихідного матеріалу [15–17].

Одним зі шляхів поліпшення селекційної роботи зі створення гібридів кукурудзи є використання гетерозисних моделей, які оптимізують та прискорюють пошук кращих

пар ліній для схрещування. Термін «гетерозисна модель гібрида» з'явився завдяки виявленню комбінацій з високим рівнем гетерозису та розподілу ліній на певні гетерозисні групи [18]. Такий поділ є умовним, бо він не відображає гетерозисну групу як таксономічну одиницю в еволюційному розумінні, але є одним із основних принципів добору вихідного матеріалу в селекційних програмах з поліпшення кукурудзи. За даними С. І. Мустяци, в сучасній селекційній практиці використовується близько 14 зародкових плазм кукурудзи, найпоширенішими з яких є Lacaune, Lancaster, Iodent, Reid, Minnesota 13, Dent Canadian та 21 гетерозисна група [19].

Якщо нову лінію не вдається ідентифікувати за наявними гетерозисними групами або вона має складний родовід і отримана з гібрида із закритим родоводом, то її зараховують до змішаної плазми (Mix). Використання такої плазми в селекційному процесі розширює генетичну базу кукурудзи і сприяє створенню нових високоврожайних і адаптованих до умов навколишнього середовища гібридів. Першими гетерозисними моделями для гібридів середньостиглої групи були: (Lacaune×Lacaune)×Co 125, (Lacaune×Lacaune)×CM 7, (Lacaune×Lacaune)×Minnesota 13 та (Lacaune×Lacaune)×Reid [20].

Наступним етапом у селекції кукурудзи стало широке поширення в Західній Європі та Північній Америці ранньостиглого гібрида Деа, створеного за моделлю Iodent×Lacaune. Цей гібрид вирізнявся високою продуктивністю та стійкістю до вилягання, з підвищеним вмістом сухих речовин в зерні [21]. Подібні гетерозисні моделі використовувалися і при створенні інших гібридів вітчизняної та світової селекції [20, 22].

Мета наших досліджень – визначити господарську цінність гібридів кукурудзи, створених за участі ліній різних зародкових плазм та визначити найбільш перспективні гетерозисні моделі для кожної групи геноплазм, дослідити вплив умов вирощування рослин на господарсько-цінні показники гібридів залежно від їх генетичного походження, виділити нові високоврожайні гібриди кукурудзи, які здатні забезпечувати високі і стабільні врожаї при низькій вологості зерна під час збирання.

Матеріали та методи. Експериментальна частина роботи виконувалась у спеціальній селекційній сівозміні Державної установи Інститут зернових культур НААН України протягом 2013–2016 рр.

Агрометеорологічні умови при проведенні досліджень відрізнялись від середньо-багаторічних за температурним режимом, кількістю атмосферних опадів та їх розподілом в окремі місяці. Протягом досліджень умови для розвитку кукурудзи переважно характеризувались сприятливим розподілом вологи, за винятком 2014 р., який відзначився значною кількістю опадів у першій половині вегетації і практично відсутністю опадів у другій.

Сівбу здійснювали спеціальною селекційною сівалкою в оптимальні для кукурудзи строки при стійкому прогріванні ґрунту до 10–12 °С. Розмір ділянок – 4,9 м², повторність триразова. Густота стояння рослин формувалась вручну у фазі 4–5 листків, і становила 50 тис. шт./га. Збирання врожаю гібридів здійснювали спеціальними селекційними комбайнами, укомплектованими системою зважування та сенсорами визначення вологості зерна.

Експериментальні дані обробляли за допомогою методів кореляційного, регресійного і дисперсійного аналізу за Б. О. Доспеховим (1985) [23]. Параметри варіювання і коефіцієнт кореляції розраховували за методикою Г. Ф. Лакіна (1990) [24]. Оцінку параметрів комбінаційної здатності в системі неповних тесткросних схрещувань здійснювали за методикою Г. К. Дремлюка, В. Ф. Герасименка (1991) [25]. Розраховувався індекс $R_{н/м}$ за співвідношенням урожайності (н) до вологості зерна при збиранні (м). Статистичну обробку даних виконували за допомогою програми Microsoft Excel та спеціалізованої комп'ютерної програми Statistica 6.0.

У дослідження залучено 40 самозапилених ліній кукурудзи, створених в ДУ Інститут зернових культур НААН, що належать до чотирьох найпоширеніших генетичних плазм у селекції середньостиглих гібридів: BSSS – ДК239МВ (St), ДК329МВ, ДК2323МВ, ДК2396МВ, ДК3824, ДК310, ДК3705, ДК311, ДК3821, ДК3151; Iodent – ДК365 (St), ДК2038, ДК2311, ДК7408,

ДК7420, ДК3867–7, ДК364, ДК55, ДК277, ДК2575; Lancaster – ДК296 (St), ДК267МВ, ДК2953, ДК6353, ДК6356, ДК3044, ДК2973, ДК4273, ДК1863, ДК1853; Змішана – ДК3151 (St), ДК402, ДК401, ДК4454, ДК446, ДКМ–3, ДК440, ДК3155, ДК4441, ДК2368.

На основі цих ліній за топкросною схемою отримано 120 гібридів, включаючи 20 простих модифікованих. Як тестери використані лінії та сестринські гібриди: у групі BSSS – ДК680 (Lancaster), ДК315 (Змішана) та ДК721 (Iodent); Iodent – ДК296С×ДК2953 (Lancaster), ДК3821 (BSSS) та ДК633/325 (Змішана); Lancaster – ДК721, ДК365 та ДК275М×ДК301, які відносяться до зародкової плазми Iodent; Змішана – ДК633/325 (Змішана), яка отримана на базі плазми Ланкастер (Mo17) та Міндсенпустіфехе (ДК325) і добре комбінує з лініями решти геноплазм, ДК3044 (Lancaster) та ДК3151 (BSSS). Для порівняння використані стандарти (st): середньостиглий гібрид Солонянський 298 СВ і середньопізній ДН Гетера, які є комерційними гібридами і занесені до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні.

Результати та обговорення. Урожайність тесткросів залежала від умов року і генотипу гібридів. Зокрема, у сприятливому 2015 р. у гібридів, створених на базі ліній групи BSSS, у середньому вона була на 12,1 % вища порівняно зі стресовим 2014 р. та на 6,7 % – з 2016 р. і становила 6,41 т/га при вологості зерна під час збирання – 11,9 % (табл. 1).

Середня врожайність тесткросів ліній групи BSSS була вище за стандарт Солонянський 298 СВ в 2014 і 2016 рр. відповідно на 4,8 і 31 %, а у сприятливий 2015 р. нижча на 8,7 %.

Середньопізній гібрид – стандарт ДН Гетера протягом 2014–2016 рр. характеризувався кращою врожайністю відносно середньої тесткросів ліній групи BSSS на 4,8, 9,4 та 3,8 % відповідно за роками.

Однак, кращі тесткроси з цієї групи сформували вищу врожайність зерна за стандарт ДН Гетера у різні роки на 19,9; 12,6 та 22,6 % відповідно.

Тесткроси, створені на базі ліній Iodent, мали середню врожайність зерна на рівні тесткросів ліній BSSS з коливаннями

Таблиця 1. Параметри варіювання врожайності і вологості зерна тесткросів ліній різних генетичних плазм

Показники		2014 р.	2015 р.	2016 р.
BSSS				
Урожайність зерна, т/га	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	5,67±0,14	6,41±0,16	6,01±0,14
	V, %	13,19	13,34	12,97
	Lim	3,47÷7,12	4,92÷7,89	4,47÷7,65
	St*	5,4	6,97	4,15
	St**	5,94	7,01	6,24
Вологість зерна під час збирання, %	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	13,9±0,08	11,9±0,12	14,6±0,14
	V, %	3,05	5,38	5,27
	Lim	13,10÷15,07	10,67÷13,47	13,63÷16,93
	St*	14,3	12,8	15,1
	St**	15,1	14,3	18,2
Iodent				
Урожайність зерна, т/га	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	5,81±0,13	6,62±0,16	5,88±0,08
	V, %	11,93	12,96	7,7
	Lim	4,0–7,49	5,12–8,24	4,91–6,62
	St*	5,3	6,88	5
	St**	5,67	7,45	6,52
Вологість зерна під час збирання, %	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	14,0±0,05	13,5±0,28	16,0±0,31
	V, %	2,14	11,15	10,62
	Lim	13,53–14,67	11,33–16,80	13,60–19,43
	St*	14,3	13,8	14,8
	St**	14,7	13,6	19,5
Lancaster				
Урожайність зерна, т/га	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	5,83±0,13	6,39±0,14	6,03±0,11
	V, %	11,59	11,75	9,71
	Lim	4,75–7,18	4,78–7,86	5,02–7,07
	St*	5,14	6,01	4,89
	St**	5,32	7,6	7,42
Вологість зерна під час збирання, %	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	14,1±0,07	13,5±0,28	16,1±0,30
	V, %	2,82	11,52	10,08
	Lim	13,2–15,1	10,7–16,5	12,7–18,7
	St*	13,9	14,3	15,2
	St**	15,1	14,3	18,2
Змішана				
Урожайність зерна, т/га	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	5,81±0,14	6,86±0,26	6,24±0,26
	V, %	12,78	20,5	22,63
	Lim	4,27–6,98	4,12–8,55	2,53–9,30
	St*	5,04	6,56	4,72
	St**	5,87	7,4	6,34
Вологість зерна під час збирання, %	$\bar{x} \pm mt_{0,05}$	14,3±0,11	14,0±0,34	16,5±0,38
	V, %	4,1	12,67	12,73
	Lim	13,30–15,77	11,40–17,90	13,57–20,47
	St*	13,3	13,3	15,5
	St**	14,5	13,4	16,7

* Солонянський 298 СВ; ** ДН Гетера.

по роках від 5,81 до 6,62 т/га. Проте, якщо у 2014 і 2015 рр. середня врожайність зерна тесткросів ліній групи Iodent була вища за середню врожайність тесткросів групи BSSS на 2,5 та 3,3 %, то у 2016 р. менша – на 2,2 %. Щодо вологості зерна при збиранні, то се-

редні показники групи BSSS в усі роки були меншими, а варіювання цієї ознаки в групі Iodent в 2015 і 2016 рр. було більшим практично у 2 рази. Лінії групи Lancaster аналізували за комбінаційною здатністю в схрещуваннях з тестерами плазми Iodent: лінія-

ми ДК721, ДК365 та сестринським гібридом (ДК275М×ДК301). Відповідна гетерозисна модель є найбільш ефективною по відношенню до плазми Lancaster у середньостиглій групі гібридів і широко використовується в дослідженнях ДУ ІЗК НААН.

Середня врожайність зерна тесткросів ліній плазми Lancaster була найбільш стабільною порівняно з тесткросами ліній інших груп, на що вказує найменший розмах варіювання за роками – 0,56 т/га. У стресовому 2014 р. тесткроси цієї групи у середньому були найкращими за врожайністю зерна порівняно з тесткросами інших груп. Максимальний її рівень (6,39 т/га), як і у тесткросів інших плазм, відзначено у 2015 р. і на 7,0 та 5,6 % нижче відповідно в 2014 і 2016 рр.

Для визначення комбінаційної здатності ліній плазми Змішана, які в основному представлені зразками плазми BSSS та Iodent, використано тестери-лінії: ДК633/325 (Lancaster), ДК3151 (BSSS) та ДК3044 (Lancaster). За врожайністю зерна експериментальні гібриди групи ліній Змішана у середньому перевищували стандарт-гібрид Солонянський 298 СВ на 15,8 %. Проте в 2015 і 2016 рр., порівняно зі середньопізним стандартом ДН Гетера, врожайність була нижчою відповідно на 5,5 та 4,9 %.

Слід відмітити, що тесткроси ліній групи Змішана характеризувались вищою середньою врожайністю зерна на 4,5; 3,3 та 4,9 % порівняно з гібридами, створеними на базі геноплазм BSSS, Iodent та Lancaster.

При плануванні досліджень тестерні альтернативні зразки для кожної експериментальної групи ліній підібрані відповідно до попередніх даних щодо їхніх філогенетичних особливостей. Зокрема, для зразків групи BSSS ними були лінії ДК680 (Lancaster), ДК315 (Змішана) і ДК721 (Iodent), які за 2014–2016 рр. у середньому сформували врожайність зерна 6,0, 6,11 та 5,98 т/га, відповідно.

Селекція гібридів, які поєднують низьку збиральну вологість зерна з високою продуктивністю, найактуальніше питання сьогодення, особливо для вітчизняних селекційних компаній. Дієвим параметром ідентифікації гібридів вважається індекс $R_{Н/М}$ – співвідношення врожайності (т/га) до вологості зерна (%) [27]. Серед досліджува-

них гібридних комбінацій групи BSSS за індексом ($R_{Н/М}$) виділились ДК315×ДК3821 (Змішана×BSSS) – 0,51 та ДК680×ДК3151 (Lancaster×BSSS) – 0,50 у середньому за три роки (табл. 2).

Найвищий рівень індексу $R_{Н/М}$ відмічений у тестерних гібридів групи Змішана, зокрема комбінації ДК3044×ДК315 (Lancaster×Змішана) – 0,56; ДК3151×ДК3155 (BSSS×Змішана) – 0,55; ДК633/325×ДК3155 (Lancaster×Змішана) – 0,53, які вдало поєднували високу врожайність (8,0; 7,18; 7,08 та 6,98 т/га відповідно) та низьку збиральну вологість зерна (14,2, 13,0, 13,4 та 13,3 %) у середньому за три роки випробувань.

Серед виділених тесткросів чотирьох плазм найкраще співвідношення урожайності до збиральної вологості зерна (коефіцієнт урожайності) спостерігалось у гібридних комбінації Lancaster×Змішана (0,41–0,56).

У 2015 р. вологість зерна була найнижчою, що зумовлено погодними умовами через високі температури повітря та недостатнім вологозабезпеченням.

Виявлено, що гібриди гетерозисної моделі BSSS×Iodent характеризувались стабільно низькими показниками вологості зерна при збиранні в усі роки (13,1 %). Максимальне значення показника серед чотирьох груп було у представників плазми Змішана (14,9 %), а гібриди за участю геноплазм Iodent і Lancaster мали середні значення (14,5 %) та (14,6 %) відповідно.

Кореляційний аналіз дозволяє виявити взаємодію між основними ознаками рослин у процесі добору, що підвищує ефективність ідентифікації цінних генотипів [28, 29]. Н. А. Орлянський [30], вказує, що визначення напрямку та сили зв'язків між окремими ознаками і властивостями вихідного матеріалу підвищує ефективність добору зразків за бажаними господарсько-цінними ознаками. Проте ряд авторів вказує на суперечливість результатів селекції при використанні кореляційних зв'язків через неоднотипову реакцію генотипу на різні умови вирощування [31, 32]. Згідно загальним уявленням прийнято ранжування кореляційних зв'язків, на сильні ($r = 0,66–0,99$), середні – ($r = 0,33–0,65$) і слабкі ($r < 0,33$) [33] (табл. 3).

У наших дослідженнях за основними господарсько-цінними ознаками та врожай-

Таблиця 2. Оцінка кращих гібридів різних генотипів за індексом $R_{H/M}$ (2014–2016 рр.)

Гібридна комбінація	Гетерозисна модель	Урожайність зерна, т/га	Вологість зерна, %	Індекс $R_{H/M}$
BSSS				
ДК315×ДК3821	Змішана×BSSS	6,79	13,3	0,51
ДК680×ДК3151	Lancaster×BSSS	6,5	13	0,5
ДК315×ДК2323МВ	Змішана×BSSS	6,46	13,3	0,49
Солонянський 298 СВ		5,51	14,1	0,39
ДН Гетера		6,39	15,9	0,4
HIP ₀₅		0,41	0,54	-
Iodent				
ДК633/325×ДК2575	Змішана×Iodent	6,95	14,2	0,49
(ДК296С×ДК2953)×ДК2575	Lancaster×Iodent	6,92	14,1	0,49
ДК633/325×ДК365	Змішана×Iodent	6,75	13,2	0,51
Солонянський 298 СВ		5,73	14,1	0,41
ДН Гетера		6,55	15,9	0,41
HIP ₀₅		0,48	0,64	-
Lancaster				
ДК365×ДК6356	Iodent×Lancaster	7,17	13,9	0,51
(ДК275М×ДК301)×ДК2973	Iodent×Lancaster	6,92	15	0,46
ДК365×ДК2953	Iodent×Lancaster	6,79	14,4	0,47
Солонянський 298 СВ		5,35	14,5	0,37
ДН Гетера		6,78	15,9	0,43
HIP ₀₅		0,42	0,71	-
Змішана				
ДК3044×ДК315	Lancaster×Змішана	8,00	14,2	0,56
ДК3151×ДК4454	BSSS×Змішана	7,59	14,9	0,51
ДК3151×ДК3155	BSSS×Змішана	7,18	13	0,55
ДК633/325×ДК3155	Lancaster×Змішана	7,08	13,4	0,53
Солонянський 298 СВ		5,44	14	0,39
ДН Гетера		6,54	14,9	0,44
HIP ₀₅		0,48	0,81	-

Таблиця 3. Коефіцієнти кореляції (r) між урожайністю зерна тесткросів ліній різних генотипів та їх господарсько-цінними ознаками

Рік	Ознака	Зародкова плазма			
		BSSS	Iodent	Lancaster	Змішана
2014	Вологість зерна під час збирання, %	0,12	-0,19	0,34	-0,16
	Період «сходи – цвітіння 50 % качанів», діб	0,04	-0,29	-0,01	-0,38
	Висота рослин, см	0,48	-0,14	-0,02	0,03
	Висота прикріплення качана, см	0,32	-0,04	0,10	0,04
2015	Вологість зерна під час збирання, %	0,29	0,42	0,33	0,34
	Період «сходи – цвітіння 50 % качанів», діб	0,03	0,43	0,23	0,33
	Висота рослин, см	-0,09	0,36	0,04	0,36
	Висота прикріплення качана, см	-0,28	0,38	0,28	0,24
2016	Вологість зерна під час збирання, %	0,34	0,54	0,32	-0,10
	Період «сходи – цвітіння 50 % качанів», діб	0,19	0,06	0,42	-0,26
	Висота рослин, см	0,64	0,22	0,18	0,13
	Висота прикріплення качана, см	0,12	0,18	0,38	0,09

Критичне значення коефіцієнта кореляції при 5 % рівні значимості – 0,36.

ністю зерна тесткросів простежувалась низька негативна і середня позитивна достовірна залежність: у групи BSSS – від -0,28 (висота прикріплення качана) у 2015 р. до 0,64 (висота рослин) у 2016 р.; Iodent – від -0,29 (тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів») у 2014 р. до 0,54 (вологість зерна підчас збирання) у 2016 р.; Lancaster – від -0,02 (висота рослин) у 2014 р. до 0,42 у 2016 р. (тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів»); Змішана – від -0,38 (тривалість періоду «сходи – цвітіння 50 % качанів») у 2014 р. до 0,36 (висота рослин) у 2015 р.

Отримані результати свідчать, що відсутні чіткі лінійні зв'язки врожайності та біометричних параметрів рослин, через їх варіацію, викликану різною інтенсивністю стресових факторів протягом вегетації і різним філогенетичним відгуком, що не дозволяє визначити оптимальний фенотип гібриду, тому що кожного разу вмикаються певні адаптивні механізми, характерні для конкретних умов та особистою реакцією генотипу.

Висновки. У результаті проведених досліджень встановлена значна варіабельність основних господарсько-цінних ознак у тесткросів константних ліній основних базових плазм: BSSS, Iodent, Lancaster та Змішана у роки з різним рівнем вологозабезпечення.

Встановлено, що середня врожайність за три роки випробувань найвищою була у

тесткросів гетерозисних моделей Змішана×Lancaster (6,31 т/га) та Iodent×Lancaster (6,02 т/га), мінімальною вона була у тесткросів гетерозисної моделі BSSS×Iodent (5,9 т/га).

Визначено, що тест кроси, створені за гетерозисною моделлю Lancaster×Iodent, відзначились найбільшою стабільністю за врожайністю.

Виділено тесткроси: ДК3044×ДК315, ДК3151×ДК4454, ДК3151×ДК3155 та ДК365×ДК6356 зі значно вищими показниками урожайності зерна порівняно з гібридами-стандартами.

Визначено найкращі тесткроси за співвідношенням урожайності до збиральної вологості у групі: BSSS – ДК315×ДК3821 (Змішана×BSSS) – 0,51 та ДК680×ДК3151 (Lancaster×BSSS) – 0,50; Iodent – ДК633/325×ДК365 (Змішана×Iodent) – 0,51, (ДК296С×ДК2953)×ДК2575 (Lancaster×Iodent) та ДК633/325×ДК2575 (Змішана×Iodent) – 0,49; Lancaster – ДК365×ДК6356 (Iodent×Lancaster) – 0,51; Змішана – ДК3044×ДК315 (Lancaster×Змішана) – 0,56, ДК3151×ДК3155 (BSSS×Змішана) – 0,55, ДК633/325×ДК3155 (Lancaster×Змішана) – 0,53. Вони є перспективними для подальшого використання в селекції середньостиглих гібридів і виробництві, враховуючи їх добру адаптованість до умов Степу України.

Використана література

1. Спеціальна селекція польових культур за ред. М. Я. Молоцького / В. Д. Бугайов та ін. Біла Церква: Білоцерківський нац. аграр. ун-т, 2010. 368 с.
2. Carena M. J., Hallauer A. R., Filho J. V. M. (2010). Quantitative genetics in maize breeding. Net York: 663 p. doi: org/10.1007/978-1-4419-0766-0
3. Troyer A. F. (2000). Temperate corn – background, behavior, and breeding. Specialty corns. Boca Raton: CRC Pres. 468 p.
4. Дзюбецький Б. В., Сатарова Т. М., Денисюк К. В., Стасів О. Ф. Вихідний матеріал зародкової плазми Ланкастер у селекції і біотехнології кукурудзи: монографія. Київ: Аграрна наука, 2020. 352 с., з ілюстр. DOI: org/10.31073/978-966-540-500-9
5. Черчель В. Ю. Перспективи селекції та розвитку насінництва. *Селекція і насінництво*. Харків. 2007. № 5. С. 3–6.
6. Cupertino-Rodrigues M., Dhliwayo T., Trachsel S. (2020). Evaluation of U.S. inbred lines with expired plant variety protection for mid-altitude tropical maize breeding. *Euphtica*. 216:1–15. doi:org/10.1007/s10681-020-02584-z
7. East E. M. Inbreeding in corn. Rep Connecticut AgricExpStn. 1908. P. 419–428.
8. Shull G. H. A pure-line methods in corn breeding. Am. Breeders' Assoc. Rep. 1909. V. 4. P. 296–301.
9. Черчель В. Ю., Купар Ю. Ю., Таганцова М. М., Стасів О. Ф. Результати дивергенції скоростиглого ви-хідного матеріалу кукурудзи звичайної у гетеро-зисній селекції. *наук.-практ. журн. «Plant Varieties Studying and Protection»*. 2020. Т. 16. № 4. С. 378–386. DOI: 10.21498/2518-1017.16.4.2020.224055.
10. Дзюбецький Б. В., Ільченко Л. А., Черчель В. Ю. Селекція середньопізніх гібридів кукурудзи для зони Степу. *Зрошуване землеробство: зб. наук. пр.* Айлант, 2005. Вип. 44. С. 95–98.
11. Дзюбецький Б. В., Рибка В. С., Черчель В. Ю. Скоростиглі гібриди як фактор енерго- і ресурсозбереження у виробництві зерна кукурудзи. *Таврійський наук. вісн.* Херсон, 2007. Вип. 53. С. 27–36.
12. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Селекція гібридів кукурудзи, стійких до екстремальних умов ви-

- рощування. *Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва*. 2007. № 31–32. С. 3–11.
13. Кугра М. Ya., Kulyk V. O., Kupar Yu. Yu., Stasiv O. F. Influence of a new nergy-saving drying method on the quality of corn seeds. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 2021. № 1. V. 9. P. 1–6. DOI: 10.11648/j.ajaf.20210901.11
 14. Melani M. D. Alternative maize heterotic pattern for the northern corn belt. *Crop Sci*. 2005. V. 45. P. 2186–2194.
 15. Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю. Урожайність зерна скоростиглих гібридів кукурудзи різних сортів. *Вісн. аграр. науки*, 2017. № 8. С. 19–23.
 16. Шлапунов В. Н., Дзюбецький Б. В., Черчель В. Ю., Надточаев Н. Ф. Селекція совместних гібридів кукурузи силосного напрямлення для Беларусі. *Вестн. БарГУ*, 2013. Вип. 1. С. 92–98.
 17. 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.
 18. Лашина М. В. Селекційні аспекти моделювання гібридів кукурудзи для умов зрошення Півдня України. *Зрошуване землеробство*. 2010. Вип. 53. С. 429–437.
 19. Создание, оценка, классификация и использование самоопыленных линий скороспелой кукурузы. С. И. Мустяца, П. А. Борозан, С. Г. Грума, Г. В. Русу. Ин-т растениеводства Порумбень – 40 лет научной деятельности. Пашканы, 2014. С. 70–98.
 20. Черчель В. Ю., Гайдаш О. Л. Оцінка скоростиглого вихідного матеріалу кукурудзи на базі Змішаної зародкової плазми за комбінаційною здатністю врожайності зерна. *Селекція, генетика та технологія вирощування с.-г. культур*: мат. V міжнар. наук.-практ. конф. молодих вчених і спеціалістів. (с. Центральне, 21 квітня 2017 р.). Центральне, 2017. С. 135.
 21. Чилашвили И. М. Оценка нового исходного материала для селекции ранних и среднеранних гибридов кукурузы. *Научн. журн. КубГАУ*, 2012. № 79 (05), С. 1–16.
 22. Мустяца С. И. Использование зародышевой плазмы гетерозисных групп БССС и Рейд Айодент в селекции скороспелой кукурузы. *Кукуруза и сорго*. 2007. № 6. С. 8–12.
 23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Агропромиздат, 1985. 352 с.
 24. Лакин Г. Ф. Биометрия: уч. пособ. для биолог. и спец. ВУЗов. 4-е. изд. Москва: Высш. шк., 1990. 352 с.
 25. Дремлюк Г. К., Герасименко В. Ф. Приемы анализа комбинационной способности ЭВМ-программы для нерегулярных скрещиваний. Москва: Агропромиздат, 1991. 144 с.
 26. Антонюк С. П., В. С. Антонюк. Використання систем координат на площині в аграрній науці. *Бюл. Ін-ту зерн. госп-ва УААН*, 2010. № 38. С. 157–161.
 27. Котова Г. П., Шахов Н. Ф., Мусторин Н. И. Корреляционные зависимости между некоторыми признаками у линий и простых гибридов кукурузы. *Сб. науч. работ НИИСХ Центрально-Черноземной полосы*. 1986. Вып. 11. № 3. С. 47–52.
 28. Козубенко Л. В. Вивчення кореляцій у самозапиленних ліній і гібридів кукурудзи. *Вісн. с.-г. науки*, 1966. № 6. С. 33–36.
 29. Орлянский Н. А. Корреляционный анализ в селекции ультраанеспелых гибридов кукурузы. *Кукуруза и сорго*. Москва, 1999. № 6. С. 9–12.
 30. Genkins M. T. Correlaion studises with inbred and crossbred strains of mays. *Gour. Agric. Res*. 1929. V. 39, № 9. P. 677–721.
 31. Лавриненко Ю. О. Мінливість кореляційних зв'язків між кількісними ознаками кукурудзи та їх селекційне значення. *Таврійський наук. вісн.*, 2001. № 17. С. 12–17.
 32. Котова Г. П., Шахов Н. Ф., Мусторин Н. И. Корреляционные зависимости между некоторыми признаками у линий и простых гибридов кукурузы. *Сб. науч. работ НИИСХ Центрально-Черноземной полосы*. 1986. Вып. 11. № 3. С. 47–52.

References

1. Bugayov, V. D., Vasil'kivskyi, S. P., Vlasenko, V. A. et al. (2010). Special selection of Polish crops, M. Ya. Molotsky (Ed.). Bila Tserkva: Bilotserkiv National Agrarian University, 368 p. [in Ukrainian]
2. Carena, M. J., Hallauer, A. R., Filho, J. B. M. (2010). Quantitative genetics in maize breeding. Net York: 663 p. doi: org/10.1007/978-1-4419-0766-0
3. Troyer, A. F. (2000). Temperate corn – background, behavior, and breeding. Specialty corns. Boca Raton: CRC Pres. 468 p. [in Ukrainian]
4. Cherchel, V. Yu., Dzyubetsky, B. V., Satarova, T. M., Denisyuk, K. V., Stasiv, O. F. (2020). Vyhidny material of germ plasmas Lancaster in breeding and biotechnology of maize: monograph. Kiev: Agrarian Science, 352 p., Z ilustr. [in Ukrainian] DOI: org/10.31073/978-966-540-500-9 [in Ukrainian]
5. Cherchel, V. Yu. (2007). Prospects for selection and development of production. *Seleksiya i nassinnnytstvo* [Selection and production]. 5. 3–6. [in Ukrainian]
6. Cupertino-Rodrigues, M., Dhliwayo, T., Trachsel, S. (2020). Evaluation of U.S. inbred lines with expired plant variety protection for mid-altitude tropical maize breeding. *Euphtica*. 216: 1–15. doi: org/10.1007/s10681-020-02584-z
7. East, E. M. (1908). Inbreeding in corn. Rep Connecticut AgricExpStn. 419–428.
8. Shull, G. H. (1909). A pure-line methods in corn breeding. Am. Breeders' Assoc. Rep. 4. 296–301.
9. Cherchel, V. Yu., Kupar, Yu. Yu., Tagantsova, M. M., Stasiv, O. F. (2020). The results of the divergence of the speed of the poor maize material in heterotic breeding. scientific and practical magazine «Plant Varieties Studying and Protection». 16, 4. 378–386. DOI: 10.21498/2518-1017.16.4.2020.224055.

- [in Ukrainian]
10. Dzyubetsky, B. V., Ilchenko, L. A., Cherchel, V. Yu. (2005). Selection of middle corn hybrids for the Stepu zone. *Zroshyvane zemlerobstvo* [Zroshuvane farming: zb. sciences. good.] Aylant, 44. 95–98. [in Ukrainian]
 11. Dzyubetsky, B. V., Ribka, V. S., Cherchel, V. Yu. (2007). The speed of hybrids is the factor of energy and resource conservation in corn grain. *Tavriyskiy naukoviy visnik* [Taurian Scientific Bulletin], 53. 27–36. [in Ukrainian]
 12. Dzyubetsky, B. V., Cherchel, V. Yu. (2007). Selection of corn hybrids, strong to extreme minds viroshuvannya. *Biuleten Instytutu zernovoho hospodarstva* [Bulletin of the Institute of Grain Farming], 31–32. 3–11. [in Ukrainian]
 13. Kyrpa M. Ya., Kulyk V. O., Kupar Yu. Yu., Stasiv O. F. (2021). Influence of a new nergy-saving drying method on the quality of corn seeds. *American Journal of Agriculture and Forestry*. 1. 9. 1–6. DOI: 10.11648/j.ajaf.20210901.11
 14. Melani, M. D. (2005). Alternative maize heterotic pattern for the northern corn belt. *Crop Sci.* 45. 2186–2194.
 15. Dziubetsky, B. V., Cherchel, V. Yu. (2017). Grain yield, speed of corn hybrids, corn varieties. *Visnyk agrarnoi nauky* [Bulletin of Agrarian Science], 8. 19–23. [in Ukrainian]
 16. Shlapunov, V. N., Dzyubetskiy, B. V., Cherchel, V. Yu., Nadtochaev, N. F. (2013). Selection of joint hybrids of silage maize for Belarus. *BarSU Bulletin*. Baranovichi, 1. 92–98. [in Russian]
 17. Cherchel, V. Yu., Gaidash, O. L. (2017). Selection of speed of corn hybrids (*Zea mays* L.) on the basis of germinal plasmas. *Grain crops*, 1, 1. 10–16. [in Ukrainian]
 18. Lashina, M. V. (2010). Selection aspects of modeling corn hybrids for irrigation conditions in the South of Ukraine. *Irrigation agriculture*, 53. 429–437. [in Ukrainian]
 19. Mustyats, S. I., Borozan, P. A., Gruma, S. G. (2014). Creation evaluation, classification and use of self-pollinated lines of precocious corn. *Rusu. Porumben Institute of Plant Breeding – 40 years of scientific activity*. Pashkany. 70–98. [in Russian]
 20. Cherchel, V. Yu., Gaidash, O. L. (2017). Estimation of precocious source material of corn on the basis of Mixed germplasm by combinatorial ability of grain yield. *Breeding, genetics and technology of growing crops: materials V International. scientific-practical conf. young scientists and specialists*. (Central village, April 21. 2017). Central, 135 p. [in Ukrainian]
 21. Chilashvili, I. M. (2012). Evaluation of a new source material for the selection of early and middle-early maize hybrids. *Scientific Journal of KubSAU*, № 79 (05), pp. 1–16. URL: <http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/01.pdf> (accessed March 17. 2015). [in Russian]
 22. Mustyatsa, S. I. (2007). Use of germplasm of heterosis groups BSSS and Reid Ayodent in selection of precocious corn. *Corn and sorghum*, 6. 8–12. [in Russian]
 23. Dospekhov, B. A. (1985). *Method of field experiment*. Moscow: Agropromizdat, 352 p. [in Russian]
 24. Lakin, G. F. (1990). *Biometrics: a tutorial for a biologist. and special Universities*. 4-th ed. Moscow: Higher School, 352 p. [in Russian]
 25. Dremlyuk, G. K., Gerasimenko, V. F. *Methods for analyzing the combinational ability of a computer program for irregular crosses*. Moscow: Agropromizdat, 1991. 144 p. [in Russian]
 26. Antonyuk, S. P., Antonyuk, V. S. (2010). The use of coordinate systems on the plane in agricultural science. *Biuleten Instytutu zernovoho hospodarstva* [Bulletin of the Institute of Grain Farming], 38. 157–161. [in Ukrainian]
 27. Kotova, G. P., Shakhov, N. F., Mustorin, N. I. (1986). Correlation dependences between some traits in lines and simple hybrids of corn. *Sat. scientific. works of the Research Institute of Agriculture of the Central Black Earth Belt*. 11, 3. 47–52. [in Russian]
 28. Kozubenko, L. V. (1966). *Vivchennya korelyatsiy in self-filing lines and hybrids of maize*. *Visnyk. s.-g. nauk* [Visn. s.-g. science], 6. 33–36. [in Ukrainian]
 29. Orlyansky, N. A. (1999). Correlation analysis in the selection of ultra-early ripening corn hybrids. *Corn and sorghum*. Moscow, 6. 9–12. [in Russian]
 30. Genkins, M. T. (1929). Correlaion studises with inbred and crossbred strains of mays. *Gour. Agric. Res.* 39, 9. 677–721.
 31. Lavrinenko, Yu. O. (2001). Minlity of the correlative links between the few signs of maize and their selection are not significant. *Tavriyskiy naukoviy visnik* [Taurian Scientific Bulletin], 17. 12–17. [in Ukrainian]
 32. Kotova, G. P., Shakhov, N. F., Mustorin, N. I. (1986). Correlation dependences between some traits in lines and simple hybrids of corn. *Sat. scientific. works of the Research Institute of Agriculture of the Central Black Earth Belt*, 11, 3. 47–52. [in Russian]

UDC 633.15: 631.527.5 (292.486) (1-17) (477)

Kupar Yu. Yu., Dziubetsky B. V., Cherchel V. Yu., Olkhovik M. S.. Determination of the optimal heterotic model of mid-ripening maize hybrids in the Northern Steppe of Ukraine.

Grain Crops. 2022. 6 (1). 5–14.

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

Topicality. Currently, we can use more effectively the initial material of the working collection due to targeting certain heterosis models. Information about the advantages of different heterotic models in cer-

tain cultivation areas makes it easier to search for successful combinations and the selection of promising initial material. **Issues.** To identify of the most promising heterotic models of maize hybrids developed with using lines of different genetic plasms, which characterized by high yields and low grain moisture content compared to standard hybrids adapted to cultivation in the Northern Steppe. **Aim.** To determine the economic value of maize hybrids developed with using different germplasm lines and the most promising heterotic models for each genoplasm group. To investigate how the plant growing conditions influence on economic valuable indicators of hybrids depending on their genetic origin. **Materials and Methods.** Visual Method was used for phenological observations; Field and Laboratory Method was used to determine of morphobiological characteristics of plants; Measuring Weight Method – to determine the plant yield and metric characteristics; Mathematical and Statistical Method – to determine the reliability of results, the trait variability indicators, correlation dependence of traits; Analysis of Variance (ANOVA); comprehensive assessment of morphobiological and economically valuable characteristics of inbred lines and hybrids based on different genetic plasms. **Results.** It was found that testcrosses based on the Lancaster x Iodent model were the most stable by grain yield. However, in the average of three years of research, the highest average level (6.31 t/ha) was recorded in Mixed x Lancaster testcrosses. It was selected testcrosses with a higher grain yield compared to standard hybrids, such as DK3044×DK315, DK3151×DK4454, DK3151×DK3155 and DK365×DK6356 which had a yield of 8.0; 7.59; 7.18; 7.17 t/ha, respectively. We observed the best ratio of yield to grain moisture content (harvest index R_{HM}) in hybrid combinations of Lancaster x Mixed.

Conclusions. It was determined the best testcrosses according to the ratio of yield to grain moisture content: DK315C×DK3821 (Mixed×BSSS) – 0.51; DK633/325×DK365 (Mixed×Iodent) – 0.51; DK365×DK6356 (Iodent×Lancaster) – 0.51; DK3044×DK315 (Lancaster×Mixed) – 0.56; DK3151×DK3155 (BSSS×Mixed) – 0.55; DK633/325×DK3155 (Lancaster×Mixed), based on which are developing the mid-ripening maize hybrids adapted to Steppe zone of Ukraine.

Key words: *maize, hybrid, line, germplasm, heterotic model, testcross, grain yield and moisture content at harvesting.*