

Анализ комбинационной способности инбредных линий кукурузы по признаку «урожайность зерна» в тестерных скрещиваниях

Н. А. Орлянская✉, ведущий научный сотрудник

Н. А. Орлянский, главный научный сотрудник

Д. С. Чеботарёв, младший научный сотрудник

Воронежский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы», Воронежская область, Российская Федерация

396835, Воронежская область, Хохольский район, п. Опытной станции ВНИИК, ул. Чайанова, 13

✉vf-nauka@yandex.ru

Резюме Представлены результаты оценки исходного материала кукурузы на комбинационную способность (КС) по признаку «урожайность зерна». Цель исследований – выявление перспективных образцов для программ селекции гетерозисных гибридов кукурузы. Опыты проводили в Воронежском филиале ФГБНУ «ВНИИ кукурузы», расположенном в лесостепной зоне Центрально-Черноземного региона. Объектом для изучения служили 32 раннеспелые инбредные линии нового цикла селекции. Метод оценки общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности – полные топкроссы. Испытания 96 тесткроссных гибридов F1 проводили в 2021–2023 гг. в контрольном питомнике на 2-рядковых делянках с площадью 7 м² при 3-кратной повторности. По результатам дисперсионного анализа комбинационной способности установлены достоверные различия между образцами ($F_{\text{факт.}} > F_{05}$) во все годы исследований. Выделено две компоненты с наибольшим влиянием на дисперсию урожайности тесткроссных гибридов – «ОКС линий» (64,03...69,12 %) и «СКС» (23,90...31,69 %). Соотношение средних квадратов общей и специфической комбинационной способности ($ms_{\text{ОКС}}/ms_{\text{СКС}}=4,05...5,85$) свидетельствовало о преобладании влияния генов аддитивного характера над влиянием генов неаддитивного типа действия в контроле признака «урожайность зерна». Выделены и рекомендованы к практическому использованию в селекции на урожайность зерна линии 79212/8, 79212/65 и 79212/82 с высокой ОКС как в благоприятных, так и лимитированных условиях среды. Определена наиболее перспективная линия 79212/65 с наибольшим гетерозисным эффектом по отношению к стандарту и стабильным его проявлением. Отмечено влияние условий года на показатели комбинационной способности, при этом стрессовые условия способствовали большей дифференциации генотипов по классам КС.

Ключевые слова: кукуруза, инбредная линия, тесткросс, урожайность зерна, общая комбинационная способность (ОКС), специфическая комбинационная способность (СКС).

Для цитирования: Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарёв Д. С. Анализ комбинационной способности инбредных линий кукурузы по признаку «урожайность зерна» в тестерных скрещиваниях // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3 (67). С. 58–65. doi:10.18286/1816-4501-2024-3-58-65

Analysis of the combining ability of corn inbred lines according to "grain yield" trait in test crosses

N. A. Orlyanskaya✉, N. A. Orlyanskiy, D. S. Chebotarev

Voronezh branch of the All-Russian Research Institute of Corn, Voronezh Region, Russian Federation

396835, Voronezh Region, Khokholskiy District, settlement of the Experimental Station of Voronezh Research Institute of Corn, Chayanova Street, 13,

✉vf-nauka@yandex.ru

Abstract. The article presents assessment results of 32 new inbred lines of corn for combining ability according to "grain yield" trait. The purpose of the research is to identify promising source material for breeding programs for heterotic corn hybrids. The experiments were carried out at Voronezh branch of the All-Russian Research Institute of Corn, located in the forest-steppe zone of the Central Black Soil Region. General and specific combining ability were determined in the system of testcrosses, which were carried out in 2020 according to the full topcross scheme. Three sterile simple hybrids with different genetic backgrounds were used as testers: PG 10/45 M (Mixed plasma), PG 108/11 C (Mixed plasma x Ayodent plasma), PG 10/44 M (Ayodent plasma). Tests of the obtained 96 F1 hybrids were carried out in 2021–2023 in a control nursery plot on 2-row plots with an area of 7 m² having 3-fold replication. The results of the variance analysis of the combining ability revealed reliable differences between the samples ($F_{\text{fact.}} > F_{05}$) in all years of the studies. Two components with the greatest influence on the variance of the yield of test-cross hybrids were identified: General combining ability lines (64.03–69.12%) and specific combining ability (23.90–31.69%). The ratio of the mean squares of the general

and specific combining ability ($msG/msS=4.05-5.85$) indicated the predominance of the influence of additive genes over the influence of non-additive genes in the control of the "grain yield" trait. Lines 79212/8, 79212/65 and 79212/82 with high General combining ability lines were identified and recommended for practical usage in breeding for grain yield both under favorable and limited environmental conditions. The most promising line 79212/65 with the greatest heterosis effect in relation to the standard and its stable manifestation in various environmental conditions was determined.

Keywords: corn, inbred line, testcross, grain yield, general combining ability (GCA), specific combining ability (SCA).

For citation: Orlyanskaya N. A., Orlyanskiy N. A., Chebotarev D. S. Analysis of the combining ability of corn inbred lines according to "grain yield" trait in test crosses // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2024;3(67): 58-65 doi:10.18286/1816-4501-2024-3-58-65

Введение

Основу селекционного процесса у кукурузы составляют линии, их селекционная значимость определяет количественные и качественные показатели гибридов, создаваемых в соответствии с требованиями современного сельскохозяйственного производства. Эффективная селекция представляется возможной только лишь с использованием исходного материала, обладающего не только ценными хозяйственными признаками, но и способностью давать при скрещивании с другими родительскими формами гибридное потомство с высокой степенью гетерозиса. Это свойство родительских линий получило название комбинационной способности.

В прошлом веке неоднократно предпринимались попытки прогноза продуктивности гибридных комбинаций на основе морфологических признаков или физиологических и биологических свойств исходных родителей [1, 2]. Но, несмотря на усилия селекционеров, не удалось найти косвенные признаки, по которым с высокой долей вероятности можно было бы судить о комбинационной ценности линий. Исследования современных ученых не обнаружили связи между продуктивностью родительских линий и гетерозисом гибридов F₁, на основании чего сделан вывод о том, что продуктивность родителей сама по себе не может быть надежным показателем прогнозирования гетерозиса [3, 4].

Возможности для прогнозирования производительности гетерозиса расширились с применением современных методов селекции. Но, даже используя информацию о молекулярных маркерах, можно предсказать результат тестовых скрещиваний только по более простым признакам. Для сложных признаков и с ярко выраженным эффектом доминирования, таких как урожай зерна, информация должна быть получена непосредственно в тестовых скрещиваниях [5], и поэтому определение комбинационной способности родительских линий по их гибриднему потомству все еще остается самым надежным методом.

Основные методы определения комбинационной способности – топкросс, диаллельные скрещивания, поликросс и свободное (неконтролируемое) опыление. Наибольшее применение нашли первые два метода. Метод диаллельных скрещиваний дает больше информации по комбинационной способности и генетической природе родительских форм [6], но он применяется в основном на более поздних этапах селекционного процесса для оценки

специфической комбинационной способности небольшого набора линий, предварительно отобранных по общей комбинационной способности. На первом этапе изучения, как правило, используется метод тесткроссных скрещиваний как наименее затратный [7].

Комбинационная способность одной и той же линии может быть выражена двумя способами: отклонением среднего урожая (или другого показателя) всех гибридов с данной линией от среднего урожая в опыте (эффект ОКС), он характеризует аддитивный эффект генотипа той или другой родительской формы; и отклонением урожая конкретного гибрида от ожидаемых аддитивных эффектов генотипов обеих родительских форм проверяемого гибрида (дисперсия СКС), эта величина характеризует проявление аллельного и неаллельного взаимодействия. Термин «ОКС» используется для выражения средней ценности линий в гибридных комбинациях, а «СКС» – для характеристики отдельных комбинаций [8].

В работах многих авторов [9, 10, 11] отмечается важность проведения такого селекционного этапа, как оценка комбинационной способности, особенно актуальным является выделение компонентов скрещивания, характеризующихся стабильно высоким проявлением по нужным признакам [12].

Цель исследований – отбор наиболее ценных инбредных линий с высокой комбинационной способностью по признаку «урожайность зерна» для использования в программах гетерозисной селекции кукурузы.

В задачи исследований входило получение и испытание тесткроссных гибридов, а также расчет и сравнение эффектов ОКС и дисперсий СКС линий кукурузы.

Материалы и методы

Исследования проводили на полях селекционного севооборота Воронежского филиала ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт кукурузы», расположенного в лесостепной зоне Центрально-Черноземного региона на протяжении 2021–2023 гг. Почва опытного участка представлена черноземом типичным глинистым среднемощным. В пахотном слое (0...20 см) содержится 5,8 % гумуса, что характеризует почву как малогумусную. Степень кислотности почвы – слабокислая, pH=5,1. Степень обеспеченности почвы подвижными формами по фосфору средняя ($P_{2O_5}=91$ мг/кг) и по калию высокая ($K_2O=127$ мг/кг). Агротехника выращивания

соответствовала принятой в зоне и была направлена на оптимизацию роста и развития растений.

Объектом для изучения являлись 32 раннеспелые линии кукурузы, созданные в результате нового цикла селекции путем инбридинга беккроссных гибридов, полученных на базе лучших элитных линий. О комбинационной способности линий судили по их гибридному потомству. Тестовые скрещивания проводили в 2020 г. по схеме полного топкросса. В качестве тестеров использовали 3 стерильных простых раннеспелых гибрида с различной генетической основой: Тестер 1 – ПГ 10/45 М (плазма Смешанная), Тестер 2 – ПГ 108/11 С (плазма Айодент х Смешанная), Тестер 3 – ПГ 10/44 М (плазма Айодент).

Опыты закладывали в соответствии с Методикой полевого опыта (*Методика полевого опыта с основами статистической обработки* / Б. А. Доспехов. М.: Альянс. 2011. 352 с.). Испытание полученных 96 гибридов F1 проводили в контрольном питомнике на 2-рядковых делянках с площадью 7 м² при 3-кратной повторности. Густота растений в опыте к уборке составляла 65,2 тыс. раст./га. Уборку урожая зерна проводили сплошным методом после созревания стандарта.

Комбинационную способность линий оценивали по результатам расчетов эффектов ОКС и дисперсии СКС, используя математическую модель, разработанную В.Г. Вольфом (*Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности* / В.Г. Вольф, П.П. Литун, А.В. Хавелова и др. Харьков, 1980. 74 с.) с применением программы Microsoft Excel.

Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитан по методике Г.Т. Селянинова (*О сельскохозяйственной оценке климата* / Г.Т. Селянинов // *Труды по сельскохозяйственной метеорологии*. 1928. № 20. С. 165-177).

Результаты

Анализ метеорологических условий за период «май – сентябрь» показал, что в среднем по годам ГТК имел близкие значения и находился в пределах ГТК=0,99...1,10, что характеризует условия как достаточно увлажненные в 2022 и 2023 гг. и слабозасушливые в 2021 г. Но при этом за период вегетации ежегодно отмечалось чередование влажных (ГТК>1,3) и засушливых (ГТК<1,0) периодов разной интенсивности (рис. 1). Растения кукурузы наиболее чувствительны к дефициту влаги в период, начинающийся за 10 суток до выметывания и заканчивающийся через 10 суток после цветения. В условиях Центрально-Черноземного региона этот период для скороспелых форм приходится на июль. В 2021 г. гидротермические условия в фазы выметывания и цветения растений кукурузы складывались крайне неблагоприятно, они расцениваются как сильно засушливые, в июле ГТК составил всего 0,27. Более благоприятным этот период был в 2022 г., когда ГТК=0,83. А наиболее удачно погодные условия складывались в 2023 г., когда в июле наблюдалось избыточное увлажнение (ГТК=2,2). Некоторый дефицит влаги в августе 2023 г. не отразился на урожайности ранних форм, полноценному наливу зерна способствовали обильные осадки третьей декады июля (46,6 мм) и второй декады августа (24,0 мм).

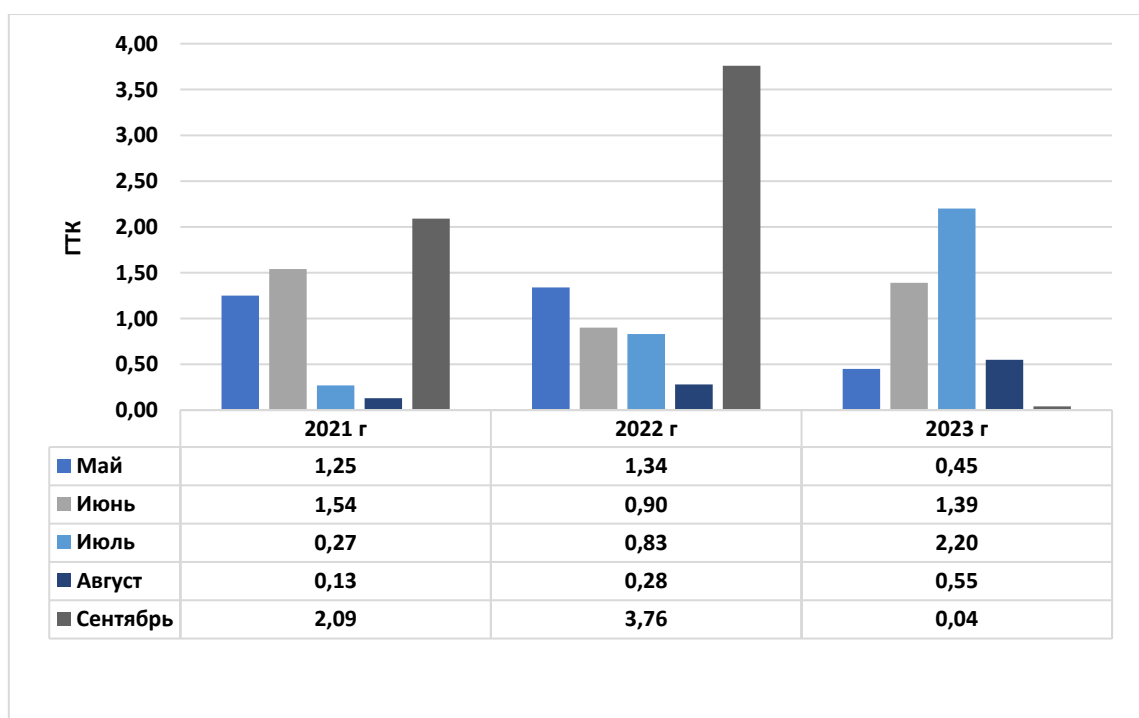


Рис. 1. Гидротермический коэффициент вегетационного периода кукурузы

Таблица 1. Матрица статистических значений результата дисперсионного анализа комбинационной способности линий кукурузы

Источник варьирования	Год	Сумма квадратов (SS)	Степени свободы (df)	Средний квадрат (mS)	F-фактор	
					F _{факт.}	F ₀₅
ОКС линий	2021	47,08	31	1,52	64,88*	1,54
	2022	58,45		1,89	47,28*	
	2023	79,15		2,55	124,45*	
ОКС тестеров	2021	0,30	2	0,15	6,31*	3,07
	2022	0,44		0,22	5,48*	
	2023	1,39		0,70	33,92*	
СКС	2021	16,28	62	0,26	11,22*	1,42
	2022	23,25		0,38	9,45*	
	2023	39,18		0,63	30,80*	
Случайные отклонения	2021	4,45	190	0,02	-	-
	2022	7,58		0,04		
	2023	3,90		0,02		

* Значение показателя статистически значимо при $p < 0,05$.

Анализ комбинационной способности линий по урожайности зерна начинался с этапа определения существенности различий между вариантами опыта, которые устанавливались в ходе дисперсионного анализа. Обнаружено достоверное превышение фактического значения критерия Фишера над теоретическим ($F_{\text{факт.}} > F_{05}$) во все годы исследований (табл. 1). В генотипической вариации выделено две компоненты с наибольшим влиянием на дисперсию урожайности тесткроссных гибридов – «ОКС линий» (64,03...69,12 %) и «СКС» (23,90...31,69 %). Достоверность различий позволила приступить к анализу комбинационной способности.

Результаты испытания тесткроссных гибридов обнаружили значительный размах варьирования их урожайности по годам. Самой низкой среднепопуляционной урожайностью зерна была в засушливом 2021 г. – 4,83 т/га с колебаниями по гибридам от 2,54 до 6,96 т/га (табл. 2). В более благоприятных условиях 2022 и 2023 гг. она повысилась до 5,81 и 6,48 т/га с лимитами 3,20...8,43 т/га и 4,04...8,78 т/га соответственно. Варьирование урожайности между образцами в пределах каждого года было на среднем уровне – коэффициенты вариации находились в пределах $V=16,80...17,56$ %, а в среднем по годам варьирование было сильным и составило $V=21,07$ %.

Таблица 2. Параметры варьирования урожайности зерна тесткроссных гибридов

Показатель	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Среднее $\pm$ стандартное отклонение ($\bar{x} \pm S_x$), т/га	4,83 $\pm$ 0,84	5,81 $\pm$ 0,98	6,48 $\pm$ 1,14	5,70 $\pm$ 1,20
Лимиты (min-max), т/га	2,54-6,96	3,20-8,43	4,04-8,78	2,54-8,78
Коэффициент вариации (V), %	17,49	16,80	17,56	21,07

Эффекты ОКС показывают отклонение от средней величины урожая по опыту, вызванное конкретной линией, и имеющие положительное (у лучших линий с высокой ОКС) и отрицательное (у худших линий с низкой ОКС) значение, эффекты ОКС посредственных линий колеблются в пределах нуля. О значимости различий судили по $НСР_{05}$ относительно средней, которая равняется нулю. По результатам оценок линии были разделены на классы: 1 – линии с высокой ОКС, существенно превышающие среднюю по опыту, 2 – линии со средней ОКС, не отличающиеся от средней опыта, 3 – образцы с низкой ОКС, существенно ниже средней по опыту. В 2023 г. соотношение рангов ОКС было наиболее близким, высокую ОКС имели 34,4 % семей, среднюю 25,0 % и 40,6 % низкую (рис.2). Условия 2021 г. в значительной мере повлияли на распределение оценок, доля

образцов с высокой ОКС составила всего 18,8 %, средней – 43,8 % и 37,4 % с низкой. Изменчивость оценок эффектов ОКС также отмечена и в 2022 г., в котором по сравнению с 2023 г. доля генотипов с высокой ОКС была одинаковой, но доля образцов с низкой ОКС оказалась выше и составила 50 %.

Результаты испытаний позволили выделить 15 образцов, показавших статистически доказанную высокую ОКС в разные годы (табл. 3). При этом установлено, что только стандартная линия Ф 12 и образцы 79212/8, 79212/65, 12279/82 проявили стабильно высокие значения показателя во все годы изучения. Стоит отметить также линии 79000/1 и 79212/22, показавших высокую ОКС в менее благоприятных условиях 2021 и 2022 гг., что является свидетельством их экологической устойчивости.

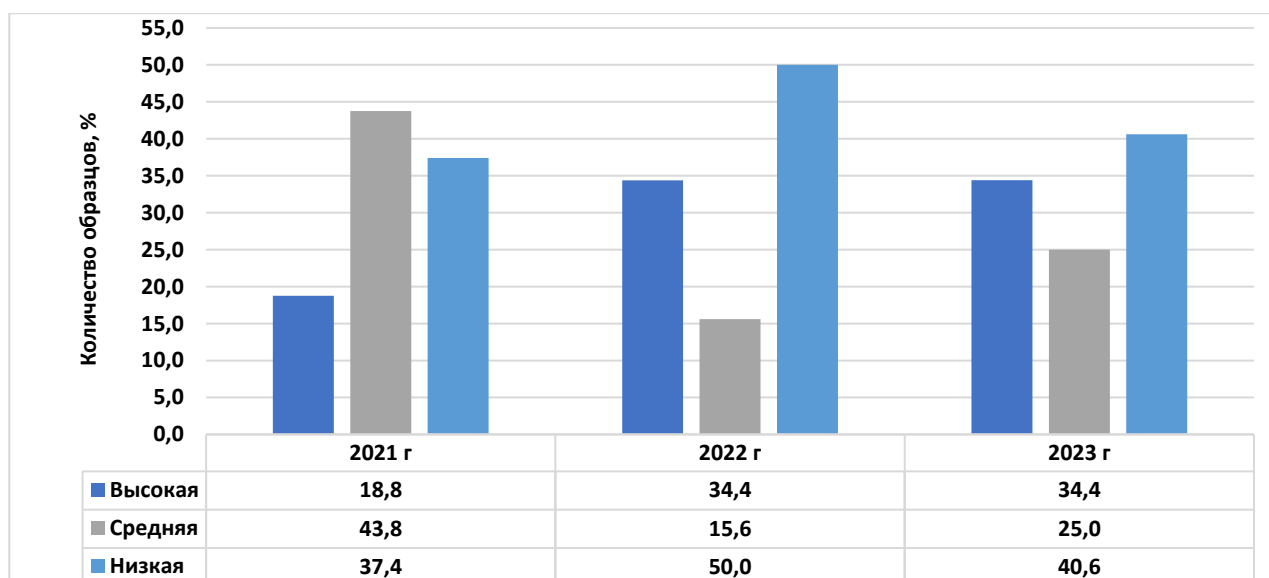


Рис. 2. Распределение линий кукурузы по рангам ОКС

Таблица 3. Эффекты ОКС линий кукурузы

Название	2021 г.		2022 г.		2023 г.	
	эффекты ОКС (g_i)	отклонение от стандарта ($g_i - g_k$)	эффекты ОКС (g_i)	отклонение от стандарта ($g_i - g_k$)	эффекты ОКС (g_i)	отклонение от стандарта ($g_i - g_k$)
Ф 12, стандарт	1,00*	-	0,77*	-	1,72*	-
79000/1	0,69*	-0,31	0,34*	-0,43	0,17	-1,55
79212/4	-0,04	-1,04	0,27	-0,50	-0,27	-1,99
79212/5	-0,31	-1,31	-0,95	-1,72	-0,02	-1,74
79212/8	1,69*	0,69*	1,53*	0,76*	1,44*	-0,28
79212/11	-0,04	-1,04	-0,93	-1,70	-0,02	-1,74
79212/21	-0,33	-1,33	0,80*	0,03	0,47*	-1,25
79212/22	0,97*	-0,03	1,05*	0,28	-0,20	-1,92
79212/23	-0,02	-1,02	-0,58	-1,35	-0,69	-2,41
79212/24	-0,20	-1,20	-0,61	-1,38	-0,57	-2,29
79212/25	0,22	-0,78	0,14	-0,63	-0,14	-1,86
79212/30	-0,23	-1,23	-0,86	-1,63	-1,69	-3,71
79212/31	-0,99	-1,99	-0,37	-1,14	-0,44	-2,16
79212/32	-0,06	-1,06	-1,02	-1,79	-0,71	-2,43
79212/37	-0,40	-1,40	0,26	-0,51	0,47*	-1,25
79212/40	-0,55	-1,55	0,73*	-0,04	1,00*	-0,72
79212/43	-0,27	-1,27	0,33*	-0,44	-0,05	-1,77
79212/60	-1,07	-2,07	-0,38	-1,15	-0,23	-1,95
79212/61	-0,42	-1,42	-0,72	-1,49	-0,93	-2,65
79212/63	-0,02	-0,02	-0,53	-1,30	-0,43	-2,15
79212/64	-0,14	-1,14	0,03	-0,74	0,74*	-0,98
79212/65	1,66*	0,66*	1,74*	0,97*	2,08*	0,36*
79212/124	0,21	-0,79	-0,35	-1,12	-0,51	-2,23
79212/126	-0,37	-1,37	-0,53	-1,30	-1,28	-3,00
12279/81	-0,37	-1,37	-0,87	-1,64	-1,23	-2,92
12279/82	1,30*	0,30*	1,30*	0,53*	1,61*	-0,11
12279/85	-0,23	-1,23	-0,46	-1,23	0,32*	-1,40
12279/87	-1,01	-2,01	-1,20	-1,97	-1,27	-2,99
12279/88	0,14	-0,86	0,78*	0,01	1,00*	-0,72
12279/103	0,19	-0,81	0,09	-0,68	0,49*	-1,23
12279/104	-1,13	-2,13	-0,33	-1,10	-0,19	-1,91
12279/122	0,13	-0,87	0,52*	-0,25	-0,66	-2,38
HCP ₀₅	0,25	-	0,32	-	0,23	-

* Значение показателя статистически значимо при $p < 0,05$.

Представляет интерес сравнение комбинационной способности нового исходного материала с комбинационной способностью стандарта, в качестве которого использовалась элитная линия Ф 12, характеризующаяся высокой способностью к

комбинированию и входящая в состав новых, уже допущенных к использованию гибридов кукурузы. Существенность различий определялась по разности эффектов ОКС конкретного образца (g_i) и стандарта (g_k) с учетом HCP₀₅. Статистически значимое

превышение ОКС над стандартной линией в отдельные годы обнаружено у трех генотипов – 79212/8, 79212/65, 12279/82, но только у образца 79212/65 оно было отмечено во все годы испытаний. У номеров 79212/8 и 12279/82 в 2021 и 2022 гг. превышение стандарта было существенным. В 2023 г. образец 12279/82 находился на уровне стандарта, а линия 79212/8 показала результат значительно ниже стандартной линии.

Анализ эффектов ОКС изучаемых линий не дает полного представления о селекционной ценности,

так как при этом усредняются возможные отклонения анализируемого признака, обусловленные специфическим взаимодействием генов в конкретных комбинациях скрещиваний, которые отражаются величиной дисперсий (варианс) СКС. Сравнение вариантов СКС с их общей средней показало, что 5 линий (79212/11, 79212/37, 79212/40, 79212/63, 79212/122) обладают высокой СКС, стабильно проявляющейся по годам (табл. 4).

Таблица 4. Дисперсии СКС линий кукурузы

Название	Дисперсии СКС (S_{ij})		
	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Ф 12, стандарт	0,71*	0,75*	0,13
79000/1	0,09	0,35*	0,07
79212/4	0,39*	0,05	0,57
79212/5	0,08	0,72*	1,07*
79212/8	0,05	0,01	0,25
79212/11	0,34*	0,72*	1,27*
79212/21	0,03	0,22	0,62*
79212/22	0,12	0,01	-0,01
79212/23	0,05	0,22	0,45
79212/24	0,02	0,14	0,14
79212/25	0,59*	0,66*	0,15
79212/30	0,41*	0,02	0,44
79212/31	0,04	1,76*	1,36*
79212/32	0,15	0,80*	0,69*
79212/37	0,25*	0,37*	1,91*
79212/40	0,59*	0,33*	0,89*
79212/43	0,03	0,04	0,25
79212/60	0,58*	0,38*	0,05
79212/61	0,17	0,07	0,99*
79212/63	0,36*	0,85*	0,76*
79212/64	0,01	0,77*	0,05
79212/65	0,04	0,05	0,08
79212/124	0,15	0,37*	0,72*
79212/126	0,31*	0,01	0,15
12279/81	0,63*	0,11	2,30*
12279/82	0,06	-0,01	0,08
12279/85	0,50*	-0,01	1,17*
12279/87	0,17	0,16	0,87*
12279/88	0,17	0,20	0,54
12279/103	0,03	0,28	0,22
12279/104	0,02	0,00	0,02
12279/122	0,60*	0,65*	1,00*
Общая средняя	0,24	0,34	0,60

* Значение показателя статистически значимо при $p < 0,05$.

Обсуждение

Условия вегетации 2021–2023 гг. в значительной степени определяли показатели комбинационной способности исходного материала. Таким образом, получили подтверждение выводы других авторов [12, 13, 14] о влиянии условий года на показатели КС, что также согласуется с результатами наших предыдущих опытов [15, 16]. В стрессовых условиях 2021 г. была сильнее выражена дифференциация изученных образцов по классам КС, чем в благоприятном 2022 и 2023 гг. Исследования, проведенные по другим культурам, показали сходные результаты [17, 18].

Полученные нами результаты показали наличие существенного различия среди родительских

линий как по ОКС, так и по СКС. Сравнение средних квадратов общей и специфической комбинационной способности ($msOKC/msCKC$), соотношение которых по годам было стабильно выше единицы и находилось в интервале 4,05...5,85, показало преобладание влияния генов аддитивного характера (определяющих ОКС) над влиянием генов неаддитивного типа действия (определяющих СКС) в контроле урожайности. Это находит подтверждение в работах других авторов [19, 20] и в очередной раз свидетельствует о сложном характере формирования признака «урожайность зерна».

Заключение

Результаты исследований показали, что признак «урожайность зерна» контролировался

преимущественно влиянием генов аддитивного (полигенного) характера.

Анализ с применением тесткроссного метода позволил распределить самоопыленные линии кукурузы по уровню комбинационной способности и выявить наиболее ценные генотипы. Для практического использования при создании новых гибридов рекомендованы линии 79212/8, 79212/65 и 79212/82 с высокими и стабильными по годам показателями эффектов ОКС. С участием линий 79212/11, 79212/37, 79212/40, 79212/63, 79212/122, проявивших высокую СКС, возможно получение отдельных продуктивных комбинаций. Самой перспективной для селекции высокоурожайных зерновых гибридов

кукурузы признана линия 79212/65 с наибольшим гетерозисным эффектом по отношению к стандарту и стабильным его проявлением в различных условиях среды.

Для повышения объективности информации по комбинационной способности исходного материала по признаку «урожайность зерна» испытание гибридного потомства следует проводить в течение ряда лет или одновременно в нескольких географических локациях с контрастными условиями среды. При этом стрессовые условия являются провокационным фоном и способствуют большей дифференциации генотипов.

Литература

1. Кукуруза (филогения, классификация, селекция) / Г. Е. Шмараев. М.: Колос. 1975. 302 с.
2. Манзюк С. Г., Литун П. П. Оценка общей комбинационной способности по физиологическим показателям // Физиолого-биохимические и биофизические основы гетерозиса и технологии гетерозисной селекции у растений: Материалы Всесоюзной конференции, Харьков, 21-24 сентября 1983 г. Харьков, 1983. С. 24.
3. Genomic and metabolic prediction of complex heterotic traits in hybrid maize / C. Riedelsheimer, A. Czedik-Eysenberg, C. Griede, et al. // Nat Genet. 2012. Vol. 44. P. 217-220. doi: 10.1038/ng.1033
4. Large-scale analysis of combining ability and heterosis for development of hybrid maize Breeding strategies using diverse germplasm resources / Y. Kanchao, H. Wang, L. Xiaogang, et al // Front. Plant Sci. 2020. Vol. 11. Article 660. doi: 10.3389/fpls.2020.00660.
5. Mõro G. V., Santos M. F., de Souza C. L Use of genomic and phenotypic selection in lines for prediction of testcrosses in maize II: grain yield and plant traits // Euphytica. 2017. Vol. 213. Article 128. doi: 10.1007/s10681-017-1915-3
6. Зайцев С. А. Применение диаллельного анализа при изучении комбинационной способности кукурузы // Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 16-19. doi: 10.28983/asj.y2020i8pp16-19.
7. Оценка комбинационной способности исходного материала по морфометрическим параметрам в тестерных скрещиваниях / С. А. Зайцев, О. С. Башинская, Д. Д. Бабушкин и др. // Journal of Agriculture and Environment. 2024. № 2(42). С. 1-8. Doi: 10.23649/JAE.2024.42.10.
8. Ismail M. R., El-Hosary A. A., El-Badawy M. E. M. Comparison among three different testers for the evaluation of new maize inbred lines (Zea mays L.) // Maydica. 2020. Vol. 65. No. 1. P. 6.
9. Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Подбор линий кукурузы для оценки комбинационной способности в топкроссных скрещиваниях // Зерновое хозяйство России. 2023. № 5. С. 24-29. doi: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-24-29.
10. Губин С. В., Логинова А. М., Гетц Г. В. Комбинационная способность по урожайности инбредных линий кукурузы Сибирского филиала ВНИИК // Вестник Омского ГАУ. 2023. № 2(50). С. 16-24.
11. Анализ общей комбинационной способности новых самоопыленных линий по урожайности зерна / А. П. Новичихин, А. А. Земцев, А. А. Федорова и др. // Рисоводство. 2022. № 3 (56). С. 29-34. doi: 10.33775/1684-2464-2022-56-3-29-34
12. Капустян М. В., Чернобай Л. Н., Сикалова Е. В. Анализ комбинационной способности новых линий кукурузы различного происхождения в тестерных скрещиваниях // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 62-66.
13. Tzoneva K. Research of combining ability of mid-early maize lines // Зернові культури. 2022. Vol. 6(2). P. 57-60. doi: 10.31867/2523-4544/0232.
14. Гүторова О. В., Зайцев С. А. Комбинационная способность линий кукурузы и генетический контроль морфометрических параметров // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22. № 2. С. 187-192. doi: 10.23649/JAE.2024.42.10.
15. Орлянский Н. А., Орлянская Н. А. Оценка комбинационной способности новых линий кукурузы Европейской кремнистой плазмы // АПК России. 2020. Т. 27. № 4. С. 629-634.
16. Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарёв Д. С. Оценка комбинационной способности самоопыленных семей кукурузы (S₅) смешанной генетической плазмы // Вестник Казанского аграрного университета. 2022. Т. 17. № 22 (66). С. 28-35. doi: 10.12737/2073-0462-2022-20-25.
17. Амунова О. С., Волкова Л. В. Генетико-статистический анализ комбинационной способности сортов яровой пшеницы по устойчивости к засухе в ювенильный период развития // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(3). С. 253-262. doi: 10.30766/2072-9081.2020.21.3.253-262.

18. Козлова И. В. Изучение комбинационной способности линий томатов по признакам продуктивности и ее составляющим // Рисоводство. 2021. № 1(50). С. 59-64. doi: 10.33775/1684-2464-2021-50-1-59-64.
19. Ojo G., Adedzwa D. K., Bello L. L. Combining ability estimates and heterosis for grain yield and yield components in maize (*Zea mays* L.) // Journal of Sustainable Development in Agriculture Environment. 2007. Vol. 3. P. 49-57.
20. Diviya T., Arambam U., Sentisuba I. Study of gene action in different traits of maize (*Zea mays* L.) // Electronic Journal of Plant Breeding. 2022. Vol. 13. No. 3. P. 845-855.

References

1. Corn (phylogeny, classification, selection) / G. E. Shmaraev. M.: Kolos. 1975. 302 p.
2. Manzyuk S. G., Litun P. P. Evaluation of general combining ability based on physiological parameters // Physiological, biochemical and biophysical foundations of heterosis and technology of heterotic selection in plants: Materials of the All-Union Conference, Kharkov, September 21-24, 1983. Kharkov, 1983. P. 24.
3. Genomic and metabolic prediction of complex heterotic traits in hybrid corn / C. Riedelsheimer, A. Czedik-Eysenberg, C. Grieder, et al // Nat Genet. 2012. Vol. 44. P. 217-220. doi: 10.1038/ng.1033
4. Large-scale analysis of combining ability and heterosis for development of hybrid corn breeding strategies using diverse germplasm resources / Y. Kanchao, H. Wang L. Xiaogang, et al. // Front. Plant Sci. 2020. Vol. 11. Article 660. doi: 10.3389/fpls.2020.00660
5. Môro G. V., Santos M. F., de Souza C. L. Use of genomic and phenotypic selection in lines for prediction of testcrosses in corn II: grain yield and plant traits // Euphytica. 2017. Vol. 213. Article 128. doi: 10.1007/s10681-017-1915-3
6. Zaitsev S. A. Application of diallelic analysis in the study of combining ability of corn // Agrarian Scientific Journal. 2020. No. 8. P. 16-19. doi: 10.28983/asj.y2020i8pp16-19
7. Evaluation of combining ability of source material by morphometric parameters in tester crosses / S. A. Zaitsev, O. S. Bashinskaya, D. D. Babushkin, et al. // Journal of Agriculture and Environment. 2024. No. 2(42). P. 1-8. doi: 10.23649/JAE.2024.42.10.
8. Ismail M. R., El-Hosary A. A., El-Badawy M. E. M. Comparison among three different testers for the evaluation of new corn inbred lines (*Zea mays* L.) // Maydica. 2020. Vol. 65. No. 1. P. 6.
9. Selection of corn lines for assessing combining ability in topcross crossings / G. Ya. Krivosheev, A. S. Ignatiev // Grain Economy of Russia. 2023. No. 5. P. 24-29. doi: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-24-29.
10. Gubin S. V., Loginova A. M., Getz G. V. Combining ability for yield of inbred corn lines of the Siberian branch of All-Russian Research Institute of Corn // Vestnik of Omsk SAU. 2023. No. 2 (50). P. 16-24.
11. Analysis of the general combining ability of new self-pollinated lines for grain yield / A. P. Novichikhin, A. A. Zemtsev, A. A. Fedorova, et al. // Rice growing. 2022. No. 3 (56). P. 29-34. doi: 10.33775/1684-2464-2022-56-3-29-34
12. Kapustyan M. V., Chernobai L. N., Sikalova E. V. Analysis of combining ability of new corn lines of different origin in test crosses // Vestnik of the Belarusian State Agricultural Academy. 2018. No. 3. P. 62-66.
13. Tzoneva K. Research of combining ability of mid-early corn lines // Grain cultures. 2022. Vol. 6(2). P. 57-60. doi: 10.31867/2523-4544/0232
14. Gutorova O. V., Zaitsev S. A. Combination ability of corn lines and genetic control of morphometric parameters // Vestnik of Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology. 2022. Vol. 22. No. 2. P. 187-192. doi: 10.23649/JAE.2024.42.10
15. Orlyansky N. A., Orlyanskaya N. A. Evaluation of the combining ability of new corn lines of the European silicon plasma // AIC of Russia. 2020. Vol. 27. No. 4. P. 629-634.
16. Orlyanskaya N. A., Orlyanskiy N. A., Chebotarev D. S. Evaluation of the combining ability of self-pollinated corn families (S_5) of mixed genetic plasma // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2022. Vol. 17. No. 22 (66). P. 28-35. doi: 10.12737/2073-0462-2022-20-25
17. Amunova O. S., Volkova L. V. Genetics and co-statistical analysis of the combining ability of spring wheat varieties for drought resistance in the juvenile period of development // Agrarian Science of the Euro-North-East. 2020. No. 21 (3). P. 253-262. doi: 10.30766 / 2072-9081.2020.21.3.253-262.
18. Kozlova I. V. Study of the combining ability of tomato lines based on productivity traits and its components // Rice Growing. 2021. No. 1 (50). P. 59-64. doi: 10.33775 / 1684-2464-2021-50-1-59-64
19. Ojo G., Adedzwa D. K., Bello L. L. Combining ability estimates and heterosis for grain yield and yield components in corn (*Zea mays* L.) // Journal of Sustainable Development in Agriculture Environment. 2007. Vol. 3. P. 49-57.
20. Diviya T., Arambam U., Sentisuba I. Study of gene action in different traits of corn (*Zea mays* L.) // Electronic Journal of Plant Breeding. 2022. Vol. 13. No. 3. P. 845-855.