

ПОДБОР ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ В ТОПКРОССНЫХ СКРЕЩИВАНИЯХ

Г. Я. Кривошеев, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
А. С. Игнатьев, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства кукурузы, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Селекция гибридной кукурузы проводится на основе межлинейной гибридизации с использованием гетерозиса в первом поколении. Повышению эффективности гибридизации может способствовать использование в скрещиваниях родительских форм с высокой комбинационной способностью. Цель исследования – выделение новых самоопыленных линий кукурузы с высокой общей и специфической комбинационной способностью, выявление влияния на точность оценки родственных линий, включенных в изучение. Исследования проведены в ФГБНУ «АНЦ «Донской» в 2021, 2022 годах. Объектом исследований послужили два тестера PD 329, KV 399 и 10 самоопыленных линий, в том числе две линии (KV 410 и DS 22/325), родственные тестеру PD 329, 20 топкроссных гибридов кукурузы. Метод оценки комбинационной способности – полные топкроссы. Оценка новых самоопыленных линий методом топкросса позволила выделить линии (KV 498 и DS 498/203-3) со стабильно высокой общей комбинационной способностью по признаку «урожайность зерна». Специфическая комбинационная способность характеризовалась изменчивостью в зависимости от года исследований, только линия KV 401 имела высокую СКС во все годы исследований. Включение в набор линий, родственных тестерам, не влияет или незначительно влияет на оценки ОКС остальных неродственных линий, влияние на СКС незначительно, однако оценка СКС будет точнее, если родственные линии исключить из набора. Выделены новые топкроссные гибриды с высокой урожайностью зерна – PD 329×KV 498 (3,92 т/га), KV 399 × KV 498 (4,71 т/га), KV 399 × KV 401 (4,80 т/га), KV 399 × DS 498/203-3 (4,60 т/га). Они получены с участием новых линий, отличающихся высокой общей или специфической комбинационной способностью, которые рекомендуется включать в программы скрещиваний по созданию высокогетерозисных гибридов кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, гибрид, самоопыленные линии, топкросс, комбинационная способность.

Для цитирования: Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С. Подбор линий кукурузы для оценки комбинационной способности в топкроссных скрещиваниях // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 5. С. 24–29. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-88-5-24-29.



SELECTION OF MAIZE LINES FOR ESTIMATING COMBINING ABILITY IN TOPCROSSINGS

G. Ya. Krivosheev, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, genadiy.krivosheev@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-5876-7672;
A. S. Ignatiev, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for maize breeding and seed production, ignatev1983@rambler.ru, ORCID ID: 0000-0002-0319-4600
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Hybrid maize breeding is carried out based on interline hybridization using heterosis in the first generation. Hybridization efficiency can be increased using parental forms with high combining ability in crosses. The purpose of the study was to identify new self-pollinated lines of maize with high general and specific combining ability, to identify the impact on the accuracy of the estimation of related lines included in the study. The current study was carried out at the FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy” in 2021 and 2022. The objects of the study were two testers PD 329, KV 399 and 10 self-pollinated lines, including two lines (KV 410 and DS 22/325) related to tester PD 329, twenty topcross maize hybrids. The method for estimating combining ability was complete topcrosses. Estimation of new self-pollinated lines by the topcross method made it possible to identify the lines ‘KV 498’ and ‘DS 498/203-3’ with a consistently high overall combining ability according to the trait ‘grain productivity’. The specific combining ability was characterized by variability depending on the year of study. Only the line ‘KV 401’ had a high SCR in all years of study. The inclusion of lines related to the testers in the set had no effect or only slightly affected the estimates of the TCS of the remaining unrelated lines. The effect on the SCS was not significant, however, the estimation of the SCS would be more accurate if related lines were excluded from the set. There have been identified such new testcross hybrids with large grain productivity as ‘PD 329 × KV 498’ (3.92 t/ha), ‘KV 399 × KV 498’ (4.71 t/ha), ‘KV 399 × KV 401’ (4.80 t/ha), ‘KV 399 × DS 498/203-3’ (4.60 t/ha). They were obtained with the participation of new lines characterized by high general or specific combinative ability, which can be recommended to be included in cross-breeding programs to develop highly heterotic maize hybrids.

Keywords: maize, hybrid, self-pollinated lines, topcross, combining ability.

Введение. Селекция кукурузы на гетерозис предполагает использование гетерозиса в первом поколении. При использовании метода гибридизации селекционеры производят большое количество комбинаций скрещиваний, и, как показывает практика, удачные скрещивания бывают редко. Повышению эффективности гибридизации может способствовать использование в скрещиваниях родительских форм с высокой комбинационной способностью (Орлянская и др., 2022).

Показатель комбинационной способности, то есть способность линий в гибридных комбинациях проявлять высокий урожай – важнейший признак ценности исходного материала (Кагермазов и др., 2022).

Важнейший признак, по которому проводится оценка комбинационной способности, – урожай зерна, однако в зависимости от направления селекции исследователи оценивают комбинационную способность по другим важнейшим признакам (Зайцев и др., 2023).

Комбинационная способность может быть определена различными способами, в частности, один из способов – в системе диаллельных скрещиваний (Зайцев, 2020). Однако чаще селекционеры используют систему топкроссных скрещиваний как достаточно информативную, но менее трудоемкую, чем диаллельные скрещивания. Метод топкроссных скрещиваний используется не только для изучения исходного материала кукурузы, но и других культур, например, сорго при селекции на гетерозис (Жужукин и др., 2017).

Оценке комбинационной способности селекционного материала значительное внимание уделяют зарубежные исследователи (Hisse, 2022). В частности, проводятся исследования по совершенствованию методов оценки (Marcal, 2019).

Один из важнейших этапов оценки комбинационной способности – подбор линий кукурузы для изучения в системе диаллельных и топкроссных скрещиваний, в частности, необходимо учитывать родство этих линий (Fan, 2018).

Зарубежные исследователи также отмечают, что повышению эффективности селекци-

онного процесса способствует выделение исходных форм, которые удачно комбинируют в скрещиваниях (Fan, 2018).

Цель исследования – выделение новых самоопыленных линий кукурузы с высокой общей и специфической комбинационной способностью, выявление влияния на точность оценки родственных линий, включенных в изучение.

Материалы и методы исследований.

В качестве объекта исследований использовали два тестера (PD 329 и RD 399), 10 самоопыленных линий кукурузы, в том числе две (KB 401 и ДС 22/325), родственные тестеру PD 329, 20 тесткроссных гибридов кукурузы.

Исследования проведены в 2021 и 2022 гг. в ФГБНУ «АНЦ «Донской», расположенном в южной зоне Ростовской области. Почва опытного участка – чернозем обыкновенный, карбонатный, тяжелосуглинистый. Климат умеренно континентальный (ГТК = 0,7). Годы проведения эксперимента оказались в разной степени засушливыми. Количество осадков в 2021 г. соответствовало среднемноголетней норме (225 мм), однако распределение их в течение вегетации было крайне неравномерным. Более засушливым оказался 2022 г., когда количество осадков за период вегетации кукурузы составило 58,6 % от нормы.

Основной метод, используемый в селекции кукурузы, – метод межлинейной гибридизации. Оценка комбинационной способности самоопыленных линий кукурузы определена методом полных топкроссов (Вольф, 1980). Гибридные комбинации созданы путем принудительного опыления под пергаментными изоляторами.

Результаты и их обсуждение. Дисперсионный анализ комбинационной способности позволяет говорить о существовании различий по ОКС между изучаемыми линиями как в 2021 ($F_{\text{факт}} = 14,20$; $F_{\text{теор}} = 2,14$), так и в 2022 году ($F_{\text{факт}} = 11,26$; $F_{\text{теор}} = 2,14$). В 2021 г. среди десяти линий выделены две с высокой общей комбинационной способностью: KB 498 ($g_i = 0,60$), ДС 498/203-3 ($g_i = 0,55$) (табл. 1).

Таблица 1. Общая комбинационная способность полного набора линий кукурузы по признаку «урожайность зерна»
Table 1. General combining ability of a complete set of maize lines according to the trait 'grain productivity'

Линия	2021 г.		2022 г.	
	g_i	Ранг по ОКС	g_i	Ранг по ОКС
KB 469, st	-0,07	II	0,31	II
KB 202	-0,22	III	-0,62	III
KB 232	-0,23	III	-0,15	II
KB 498	0,60	I	1,17	I
KB 273	0,14	II	-0,17	II
KB 401	-0,08	II	-0,42	III
ДС 498/203-3	0,55	I	0,61	I
ДС 22/325	-0,53	III	-0,62	III
KB 331	-0,01	II	-0,15	II
Тетра 1	-0,11	II	0,04	II
HCP ₀₅	0,18	–	0,32	–

Существенно низкой ОКС характеризовались линии KB 202 ($g_i = -0,22$), KB 232 ($g_i = -0,23$), ДС 22/325 ($g_i = -0,53$). Линии KB 469, KB 273 KB 401, KB 331 и Тетра 1 имели средние оценки ОКС ($g_i = +0,14 \dots -0,11$). Самоопыленные линии с высокой ОКС отнесены к первому рангу, со средней – ко второму рангу и с низкой – к третьему рангу, стандартная линия KB 469 характеризовалась средней общей комбинационной способностью и отнесена ко второму рангу.

В 2022 г. только две линии изменили ранг по ОКС в сравнении в 2021 г.: KB 232 перешла из третьего ранга во второй, а KB 401, наоборот, – из второго в третий.

Наиболее высокие оценки эффектов ОКС в 2022 г. сохранили самоопыленные линии KB 498 ($g_i = 1,17$) и ДС 498/203-3 ($g_i = 0,61$), что позволило отнести их к первому рангу. Они представляют наибольшую ценность для включения в программы скрещиваний по созданию новых высокогетерозисных гибридов кукурузы. Стабильность высоких оценок эффектов ОКС в различные годы у этих линий позволяет предположить возможность создания гибридов с их участием со стабильным урожаем.

При оценке комбинационной способности методом полных топкроссов часто случается так, что некоторые линии оказываются близкородственными какому-либо из тестеров.

Причем узнать это часто возможно только после выполнения топкроссных скрещиваний и изучения топкроссных гибридов. Селекционерам заранее не всегда представляется возможным подобрать набор линий, среди которых все будут неродственны ни одному из используемых тестеров. Практический интерес представляют выявления влияния на комбинационную способность наличие близкородственных линий, включенных в набор изучаемых линий.

В наших исследованиях в набор изучаемых линий были включены новые самоопыленные линии KB 401 и ДС 22/325, родственные тестеру PD 329. Анализ оценок эффектов ОКС (g_i) позволяет заключить, что родство этих линий одному из тестеров негативно повлияло на величину оценок. Так, по линии KB 401 в 2021 г. $g_i = -0,08$, в 2022 г. $g_i = -0,42$, то есть в 2021 г. эта линия имела среднюю общую комбинационную способность, а в 2022 г. – низкую. Линия ДС 22/325 в оба года исследований имела низкие значения общей комбинационной способности ($g_i = -0,53$, $g_i = -0,62$).

Однако еще более важно знать влияние на результаты оценки комбинационной способности неродственных линий. Для выявления этого дополнительно была выполнена оценка комбинационной способности ограниченного набора линий, из которого исключили родственные линии KB 401 и ДС 22/325 (табл. 2).

Таблица 2. Общая комбинационная способность ограниченного набора линий кукурузы по признаку «урожайность зерна»
Table 2. General combining ability of a limited set of maize lines according to the trait 'grain productivity'

Линия	2021 г.		2022 г.	
	g_i	Ранг по ОКС	g_i	Ранг по ОКС
KB 469, st	-0,15	II	0,07	II
KB 202	-0,29	III	-0,75	III
KB 232	-0,36	III	-0,28	II
KB 498	0,53	I	1,04	I
KB 273	0,07	II	-0,27	II
ДС 498/203-3	0,48	I	0,48	I
KB 331	-0,09	II	-0,28	II
Тетра 1	-0,19	III	-0,09	II
НСР ₀₅	0,18	–	0,31	–

Полученные результаты позволяют утверждать о совпадении, рассчитанных двумя способами, оценок эффектов общей комбинационной способности линий, не состоящих в родстве с тестерами. Первый способ – используя полный набор линий (включая родственные линии) и второй способ – неполный набор линий (исключая родственные линии). Так, по результатам оценки неполного набора в 2021 и 2022 гг. выделились линии с высокой ОКС: KB 498 ($g_i = 0,53$, $g_i = 1,04$), ДС 498/203 -3 ($g_i = 0,48$). То есть те же самые линии, которые были выделены и в случае оценки полного набора линий. По остальным линиям также выявлено полное совпадение оценок. Так, линия KB 202 при оценке полного набора линий имела низкую ОКС (ранг III)

в оба года, что совпадает с результатом, полученным при оценке неполного набора. Линия KB 232 изменила ранг по ОКС (третий на второй в 2022 г. по сравнению с 2021 г.) как при изучении полного, так и неполного набора. Линии KB 273, KB 331 и KB 469 показали среднюю ОКС независимо от того, как была проведена оценка (полного или ограниченного набора линий). Лишь только по линии Тетра 1 выявлено незначительное несовпадение оценок: в 2021 г. на основе оценки полного набора линий она имела второй ранг по ОКС, а при оценки неполного набора в этом году у нее отмечен третий ранг. Однако в 2022 г. и по этой линии отмечено полное совпадение оценок.

Таким образом, наличие в наборе, изучаемом по комбинационной способности, линий,

родственных тестерам, не влияет на результаты оценки ОКС линий, не состоящих в родстве с тестерами.

По специфической комбинационной способности отмечена изменчивость оценок в зависимости от года проведения исследований (табл. 3).

Таблица 3. Специфическая комбинационная способность полного набора линий кукурузы по признаку «урожайность зерна»
Table 3. Specific combining ability of a complete set of maize lines according to the trait 'grain productivity'

Линия	2021 г.			2022 г.		
	ΣS_{ij}	σ^2_{Si}	Ранг по СКС	ΣS_{ij}	σ^2_{Si}	Ранг по СКС
КВ 469, st	0,06	0,01	2	0,06	0	2
КВ 202	0,85	0,27	1	0,11	0	2
КВ 232	0,77	0,25	1	0,58	0,15	2
КВ 498	0	0	2	0,14	0,01	2
КВ 273	0,27	0,08	2	1,38	0,42	1
КВ 401	2,74	0,90	1	2,16	0,68	1
ДС 498/203-3	0,17	0,05	2	0,05	0	2
ДС 22/325	0,44	0,14	2	2,42	0,77	1
КВ 331	0,01	0	2	0,27	0,05	2
Тетра 1	0,01	0	2	0,32	0,07	2
НСР ₀₅	–	0,17	–	–	0,22	–

В 2021 г. высокую СКС (первый ранг) имели линии КВ 202, КВ 232, КВ 401 ($\sigma^2_{Si} = 0,25 - 0,90$). Средняя оценка $\sigma^2_{Si} = 0,17$. В 2022 г. высокую СКС показали линии КВ 273, КВ 401 и ДС 22/325 ($\sigma^2_{Si} = 0,42, 0,77$), средняя оценка $\sigma^2_{Si} = 0,22$. Остальные линии имели низкую СКС (второй ранг). Стандартная линия КВ 469 имела низкую СКС во все годы исследований. Только линия КВ 401 характеризовалась высокой СКС во все годы исследований. Исключение из набора линий, родственных тестеру, при расче-

те специфической комбинационной способности незначительно влияло на СКС. У шести линий из восьми (КВ 469, КВ 202, КВ 232, КВ 498, КВ 273 и КВ 331) отмечено полное совпадение рангов по СКС во все годы исследований, независимо от того, исключены или взяты для расчета родительские линии. Только по линии ДС 498/203-3 в 2021 г. и по линии Тетра 1 в 2022 г. не получено совпадения рангов по СКС (табл. 4).

Таблица 4. Специфическая комбинационная способность ограниченного набора линий кукурузы по признаку «урожайность зерна»
Table 4. Specific combining ability of a limited set of maize lines according to the trait 'grain productivity'

Линия	2021 г.			2022 г.		
	ΣS_{ij}	σ^2_{Si}	Ранг по СКС	ΣS_{ij}	σ^2_{Si}	Ранг по СКС
КВ 469, st	0	0	2	0	0	2
КВ 202	0,41	0,13	1	0	0	2
КВ 232	0,34	0,10	1	0,15	0,01	2
КВ 498	0,11	0,02	2	0	0	2
КВ 273	0,05	0,01	2	0,63	0,18	1
ДС 498/203-3	0,50	0,16	1	0,03	0	2
КВ 331	0,03	0	2	0,02	0	2
Тетра 1	0,05	0,01	2	0,90	0,27	1
НСР ₀₅	–	0,05	–	–	0,06	–

То есть наличие в наборе линий, родственных тестерам, по остальным линиям (не родственным) позволяет получить оценки СКС, однако оценка будет точнее, если при подборе родственные линии будут исключены.

Изучение тесткроссных гибридов позволило выделить новые гибридные комбинации с высокой урожайностью зерна. Гибрид, полученный от скрещивания тестера PD 329 с линией КВ 498, в среднем за 2021–2022 гг. сформировал урожай зерна 3,92 т/га, что на 0,71 т/га (22,1 %) выше, чем стандарт PD 329 × КВ 469 (табл. 5).

Новая линия КВ 498, как было ранее отмечено, характеризовалась высокой общей комбинационной способностью.

Выделены три гибрида, полученные от скрещивания тестера КВ 399 с новыми линиями КВ 498, КВ 401 и ДС 498/203-3. В среднем за годы изучения урожайность зерна новых гибридов составила 4,60–4,80 т/га. Превышение над стандартом КВ 399 × КВ 469 составило 0,72–0,92 т/га, или 18,6–23,7 %. Новые гибриды показали стабильно высокий урожай зерна во все годы исследований, наивысший урожай (5,04 т/га) получен по гибриду КВ 399 × КВ 498 в 2022 г. (табл. 6).

Таблица 5. Результаты изучения тесткроссных гибридов кукурузы, полученных от скрещивания с тестером PD 329
Table 5. Study results of testcross maize hybrids obtained from crossing with the tester 'PD 329'

Линия	Урожайность зерна при 14 % влажности, т/га			± к стандарту	
	2021 г.	2022 г.	X	т/га	%
PD 329 × KB 469, st	2,99	3,42	3,21	–	–
PD 329 × KB 202	3,31	2,56	2,94	–0,27	–8,4
PD 329 × KB 232	3,21	3,33	3,27	0,06	1,9
PD 329 × KB 498	3,45	4,38	3,92	0,71	22,1
PD 329 × KB 273	3,38	3,60	3,49	0,28	8,7
PD 329 × KB 401	1,63	1,48	1,56	–1,65	–51,5
PD 329 × ДС 498/203-3	3,14	3,70	3,42	0,21	6,5
PD 329 × ДС 22/325	1,87	1,22	1,55	–1,36	–42,4
PD 329 × KB 331	2,94	3,16	3,05	–0,16	–5,0
PD 329 × Тетра 1	2,82	2,58	2,70	–0,51	–15,9
НСР ₀₅	0,38	0,36	–	–	–

Таблица 6. Результаты изучения тесткроссных гибридов кукурузы, полученных от скрещивания с тестером KB 399
Table 6. Study results of testcross maize hybrids obtained from crossing with the tester 'KV 399'

Линия	Урожайность зерна при 14 % влажности, т/га			± к стандарту	
	2021 г.	2022 г.	X	т/га	%
KB 399 × KB 469, st	3,49	4,27	3,88	–	–
KB 399 × KB 202	2,88	3,28	3,08	–0,80	–20,6
KB 399 × KB 232	2,84	3,45	3,15	–0,73	–18,8
KB 399 × KB 498	4,37	5,04	4,71	0,83	21,4
KB 399 × KB 273	3,52	3,13	3,33	–0,55	–14,2
KB 399 × KB 401	4,84	4,75	4,80	0,92	23,7
KB 399 × ДС 498/203-3	4,59	4,60	4,60	0,72	18,6
KB 399 × ДС 22/325	3,68	4,61	4,15	0,27	7,0
KB 399 × KB 331	3,65	3,61	3,63	–0,25	–6,4
KB 399 × Тетра 1	3,58	4,58	4,08	0,20	5,2
НСР ₀₅	0,38	0,36	–	–	–

Новые линии KB 498 и ДС 498/203-3, входящие в состав выделенных гибридов, характеризовались высокой общей комбинационной способностью. Линия KB 401 отличалась высокой специфической комбинационной способностью во все годы проведения исследований.

Выводы. Оценка новых самоопыленных линий методом топкросса позволила выделить линии (KB 498 и ДС 498/203-3) со стабильно высокой общей комбинационной способностью по признаку «урожайность зерна». Специфическая комбинационная способность характеризовалась изменчивостью в зависимости от года исследований, только линия KB 401 имела высокую СКС во все годы исследований.

Включение в набор линий, родственных тестерам, не влияет или незначительно влияет на оценки ОКС остальных неродственных линий, влияние на СКС незначительно, однако оценка СКС будет точнее, если родственные линии исключить из набора.

Выделены новые тесткроссные гибриды с высокой урожайностью зерна: PD 329 × KB 498 (3,92 т/га), KB 399 × KB 498 (4,71 т/га), KB 399 × KB 401 (4,80 т/га), KB 399 × ДС 498/203-3 (4,60 т/га). Они получены с участием новых линий, отличающихся высокой общей или специфической комбинационной способностью, которые рекомендуются включать в программы скрещивания по созданию высокогетерозисных гибридов кукурузы.

Библиографические ссылки

1. Вольф В. Г., Литун П. П. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности. Харьков, 1980. с. 76.
2. Жужукин В. И., Горбунов В. С., Кибальник О. П., Семин Д. С., Гаршин А. Ю. Оценка комбинационной способности сортообразцов сахарного сорго // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 5. С. 34–37.
3. Зайцев С. А. Применение диаллельного анализа при изучении комбинационной способности кукурузы // Агарный научный журнал. 2020. № 8. С. 16–19. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i8pp16-19>
4. Зайцев С. А., Бычкова В. В., Волков Д. П., Башинская О. С., Матюшин П. А. Оценка комбинационной способности линий кукурузы на содержание крахмала // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53, № 4. С. 48–56. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-4-5>

5. Кагермазов А. М., Хачидогов А. В., Яндиева А. Р. Изучение самоопыленных линий кукурузы по хозяйственно ценным признакам и устойчивости к биотическим факторам в предгорной зоне Кабардино-Балкарии // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2022. № 4(65). С. 50–55. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-50-55>
6. Орлянская Н. А., Орлянский Н. А., Чеботарев Д. С. Оценка комбинационной способности самоопыленных семей кукурузы (S5) смешанной генетической плазмы // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17, № 2 (66). С. 28–35. DOI 10.12737/2073-0462-2022-28-35
7. Hisse I., D'Andrea K., Otegui M. Diallel analysis of kernel weight and grain-filling traits in maize grown under contrasting nitrogen supply // *Agronomy Journal*. 2022. Vol. 115(2). <https://doi.org/10.1002/agj2.21261>
8. Marçal Tiago de S., Rocha João R. do A. S. de C., Salvador Felipe V., Anjos Rafael S. R. dos, Silva Adriel C. da, Carneiro, Pedro C. S. Carneiro José E. de S. Estimation of Variance for Reciprocal General and Specific Combining Ability Effects by EM-AI Algorithm // *Crop Breeding & Genetics*. 2019. Vol. 59(4). doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0555
9. Fan X. M., Bi Y., Zhang Yu., Jeffers D., Yin X.-F., Kang M. Improving Breeding Efficiency of a Hybrid Maize Breeding Program Using a Three Heterotic-Group Classification // *Agronomic Application of Genetic Resource*. 2018. Vol. 110(4). <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0290>
10. Fan X. M., Zhang Yu-D., Jeffers D. P., Bi Ya-Qi, Kang M. S., Yin Xing-Fu Combining Ability of Yellow Lines Derived from CIMMYT Populations for Use in Subtropical and Tropical Midaltitude Maize Production Environments // *Crop Breeding & Genetics*. 2018. Vol. 58(1), <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.05.0291>

References

1. Vol'f V. G., Litun P. P. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu matematicheskikh metodov dlya analiza eksperimental'nykh dannyykh po izucheniyu kombinatsionnoi sposobnosti [Methodical recommendations for the use of mathematical methods for the analysis of experimental data on the study of combining ability]. Khar'kov. 1980. s. 76.
2. Zhuzhukin V. I., Gorbunov V. S., Kibal'nik O. P., Semin D. S., Garshin A. Yu. Otsenka kombinatsionnoi sposobnosti sortoobraztsov sakharnogo sorgo [Estimation of the combining ability of sweet sorghum varieties] // *Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2017. № 5. S. 34–37.
3. Zaitsev S. A. Primenenie diallel'nogo analiza pri izuchenii kombinatsionnoi sposobnosti kukuruzy [Application of diallel analysis in studying the combining ability of maize] // *Agarnyi nauchnyi zhurnal*. 2020. № 8. S. 16–19. <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i8pp16-19>
4. Zaitsev S. A., Bychkova V. V., Volkov D. P., Bashinskaya O. S., Matyushin P. A. Otsenka kombinatsionnoi sposobnosti linii kukuruzy na sodержание krakhmala [Estimation of the combining ability of maize lines for starch content] // *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2023. Т. 53, № 4. S. 48–56. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-4-5>
5. Kagermazov A. M., Khachidogov A. V., Yandieva A. R. Izuchenie samoopylennykh linii kukuruzy po khozyaistvenno-tsennym priznakam i ustoychivosti k bioticheskim faktoram v predgornoi zone Kabardino-Balkarii [The study of self-pollinated maize lines for economically valuable traits and resistance to biotic factors in the foothill zone of Kabardino-Balkaria] // *Vestnik NGAU (Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet)*. № 4(65). 2022. S. 50–55. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2022-65-4-50-55>
6. Orlyanskaya N. A., Orlyanskii N. A., Chebotarev D. S. Otsenka kombinatsionnoi sposobnosti samoopylennykh semei kukuruzy (S5) smeshannoi geneticheskoi plazmy [Estimation of the combining ability of self-pollinated maize families (S5) of mixed genetic plasma] // *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022. Т. 17, № 2 (66). С. 28–35. DOI 10.12737/2073-0462-2022-28-35
7. Hisse I., D'Andrea K., Otegui M. Diallel analysis of kernel weight and grain-filling traits in maize grown under contrasting nitrogen supply // *Agronomy Journal*. 2022. Vol. 115(2). <https://doi.org/10.1002/agj2.21261>
8. Marçal Tiago de S., Rocha João R. do A. S. de C., Salvador Felipe V., Anjos Rafael S. R. dos, Silva Adriel C. da, Carneiro, Pedro C. S. Carneiro José E. de S. Estimation of Variance for Reciprocal General and Specific Combining Ability Effects by EM-AI Algorithm // *Crop Breeding & Genetics*. 2019. Vol. 59(4). doi.org/10.2135/cropsci2018.09.0555
9. Fan X. M., Bi Y., Zhang Yu., Jeffers D., Yin Xing-Fu, Kang M. Improving Breeding Efficiency of a Hybrid Maize Breeding Program Using a Three Heterotic-Group Classification // *Agronomic Application of Genetic Resource*. 2018. Vol. 110(4), <https://doi.org/10.2134/agronj2017.05.0290>
10. Fan X. M., Zhang Yu-D., Jeffers D. P., Bi Ya-Qi, Kang M. S., Yin Xing-Fu Combining Ability of Yellow Lines Derived from CIMMYT Populations for Use in Subtropical and Tropical Midaltitude Maize Production Environments // *Crop Breeding & Genetics*. 2018. Vol. 58(1), <https://doi.org/10.2135/cropsci2017.05.0291>

Поступила: 24.08.23; доработана после рецензирования: 05.09.23; принята к публикации: 05.09.23.

Критерии авторства. Авторы статьи подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Кривошеев Г. Я. – концептуализация и проектирование исследования, анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи; Игнатьев А. С. – анализ данных и интерпретация, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.