

УДК 633.15:631.52

UDC 633.15:631.52

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

Agrarian sciences

**КОМБИНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ  
РАННЕСПЕЛЫХ САМООПЫЛЕННЫХ ЛИ-  
НИЙ КУКУРУЗЫ И ТЕСТЕРОВ В СИСТЕМЕ  
ТОПКОССНЫХ СКРЕЩИВАНИЙ**

**COMBINING ABILITY OF EARLY RIPERING  
SELF - POLLINATED LINES OF MAIZE AND  
TESTERS IN THE SYSTEM OF TOP-CROSS  
HYBRIDIZATION**

Кривошеев Геннадий Яковлевич  
кандидат сельскохозяйственных наук, заведую-  
щий лабораторией  
[genadiy.krivosheev@mail.ru](mailto:genadiy.krivosheev@mail.ru)

Krivosheev Gennadiy Yakovlevich  
Candidate of Agricultural Sciences, head of the labora-  
tory  
[genadiy.krivosheev@mail.ru](mailto:genadiy.krivosheev@mail.ru)

Игнатъев Алексей Станиславович  
кандидат сельскохозяйственных наук, старший  
научный сотрудник  
[ignatjev1983@ramler.ru](mailto:ignatjev1983@ramler.ru)

Ignatyev Alexey Stanislavovich  
Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher  
[ignatjev1983@ramler.ru](mailto:ignatjev1983@ramler.ru)

Шевченко Николай Алексеевич  
научный сотрудник  
[kcck-bass@inbox.ru](mailto:kcck-bass@inbox.ru)  
*Всероссийский научно исследовательский инсти-  
тут зерновых культур, Россия, Ростовская об-  
ласть, г. Зерноград, ул. Научный Городок, 3*

Shevchenko Nikolay Alexeevich  
researcher  
[kcck-bass@inbox.ru](mailto:kcck-bass@inbox.ru)  
*All-Russian Research Institute of Grain Crops named  
after I.G Kalinenko, Russia, Rostov region, Zerno-  
grad, Nauchny Gorodok Street, 3*

Ценность исходного материала для селекции на гетерозис определяется, прежде всего, комбинационной способностью по основным хозяйственно - ценным признакам. Оценена комбинационная способность по признаку «урожайность зерна» у 14 новых раннеспелых самоопыленных линий кукурузы и трех тестеров в системе топкроссных скрещиваний. Установлено влияние условий года на изменчивость оценок комбинационной способности. Выделены новые самоопыленные линии кукурузы СП 165 и СП 175, характеризующиеся стабильностью высоких оценок эффектов ОКС (gi) в различные годы. Новая самоопыленная линия СП 167 имела высокие варианты СКС ( $\delta 2si$ ). Изменчивостью оценок эффектов ОКС характеризовались новые линии СП 161, СП 163, СП 167 и СП 174. Они отнесены к первому или второму рангу по ОКС, в зависимости от года проведения исследований. Изменчивостью вариантов СКС (от низких до высоких) отличались линии: СП 163, СП 164, СП 170, СП 171 и СП 173. Высокопродуктивные тесткроссные гибриды: Мадонна М  $\times$  СП 165 (4,88 т/га), Мадонна М  $\times$  СП 171 (4,85 т/га), Мадонна М  $\times$  СП 167 (4,80 т/га), Т 7 М  $\times$  СП 165 (4,78 т/га), получены на основе самоопыленных линий со стабильно высокими значениями ОКС и СКС

The value of the initial material for selection for heterosis is primarily defined by the combining ability in respect to the main economically valuable characteristics. Combining ability with respect to “grain productivity” has been studied among fourteen self-pollinated lines of maize of early ripening and three testers in the system of hybrid combinations. We have proved that weather conditions have an influence on the variability of the estimates of the combining ability. We have identified the new self-pollinated lines of maize SP 165 and SP 175, which are characterized by invariably high evaluations in the effects of GCA (gi) in different years. The new self-pollinated line SP 167 has got high variants of SCA ( $\delta 2si$ ). The new lines SP 161, SP 163, SP 167 and SP 174 have been characterized by the variability of the evaluations in the effects of GCA. They are related to the first or second rank in respect of GCA, depending on the year of the conducted evaluation. These are SP 163, SP 164, SP 170, SP 171 and SP 173 that have differed by their variability of the variants of SCA (from the low variants to the high ones). The highly productive testcross hybrids: Madonna M  $\times$  SP 165 (4.88 t / ha), Madonna M  $\times$  SP 171 (4.85 t / ha), Madonna M  $\times$  SP 167 (4.80 t / ha), T 7M  $\times$  SP 165 (4.78 t / ha) have been obtained based on the self-pollinated lines having invariably high figures of GCA and SCA

Ключевые слова: КУКУРУЗА, САМООПЫЛЕННЫЕ ЛИНИИ, ТЕСТКОССНЫЕ ГИБРИДЫ, КОМБИНАЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ, ЭФФЕКТЫ ОКС, ВАРИАНСЫ СКС

Keywords: MAIZE, SELF - POLLINATED LINES, TEST-SCROSS HYBRIDS, COMBINING, ABILITY, EFFECTS OF GCA, VARIANTS OF SCA

**Введение.** Успех в селекционной работе в значительной степени зависит от исходного материала. Наличие высоких значений ценных признаков у исходного материала не гарантирует проявления их в потомстве. Для выделения наиболее ценных генотипов, отличающихся высокой степенью экспрессии высоких значений признаков в гибридном потомстве необходимо проводить оценку комбинационной способности. Наибольший практический интерес при селекции на гетерозис представляет оценка комбинационной способности по признаку «урожайность зерна».

Под термином «комбинационная способность» понимается способность линии давать при скрещивании с другими линиями, простыми гибридами или сортами гетерозисное потомство, обладающее повышенной жизнеспособностью и урожайностью. В практике оценки комбинационной способности исходного материала применяется, в основном, четыре метода скрещиваний: диалельное, топкросс, поликросс и свободное опыление [1]. Различаются схемы полных и неполных диалельных и топкроссных скрещиваний. В гетерозисной селекции кукурузы исследователи отдают предпочтение методу топкросса, основному на системе скрещиваний изучаемых линий с несколькими тестерами.

Следует разделять понятие комбинационной способности на два вида – общую (ОКС) и специфическую (СКС). ОКС представляет собой среднюю величину признака, которая наблюдается по всем гибридным комбинациям с участием изучаемых линий. СКС отражает отклонение признака у той или иной конкретной комбинации от средней величины.

По сведениям В. С. Сотченко [2], отдельные линии значительно реагируют на изменение внешних факторов среды. При этом наблюдаются отличия в оценке общей и специфической комбинационной способности. Поэтому необходимо анализировать взаимодействие комбинационной способности с условиями окружающей среды.

Наиболее ценными являются генотипы, сочетающие высокие значения общей и специфической комбинационной способности и отличающиеся стабильностью высоких оценок в различных условиях внешней среды [3], [4].

Цель наших исследований – изучение общей и специфической комбинационной способности новых раннеспелых самоопыленных линий кукурузы и тестеров для выделения образцов представляющих ценность в селекции. Для этого необходимо выполнение следующих задач: скрещивание самоопыленных линий с тестерами, изучение тесткроссных гибридов по урожайности зерна, оценка и ранжирование линий по общей и специфической комбинационной способности, анализ изменчивости оценок комбинационной способности в зависимости от условий внешней среды.

**Материалы и методы.** Исходным материалом для проведения исследования послужили 14 новых раннеспелых самоопыленных линии кукурузы (I<sub>5</sub>), созданные во Всероссийском НИИ зерновых культур: ,СП 161, СП 162, СП 163, СП 164, СП 165, СП 166, СП 167, СП 168, СП 169, СП 170, СП 171, СП 172, СП 173, СП 174. В качестве стандарта использована раннеспелая линия из мировой коллекции Бг 1081.

Для проведения скрещиваний в качестве тестеров подобраны простые раннеспелые гибриды кукурузы: Мадонна М, Т 6 М и Т 7 М, которые созданы во Всероссийском НИИ кукурузы и были получены при обмене исходным материалом.

В 2013 году от скрещивания линий с тестерами получено 45 раннеспелых гибридов кукурузы, которые в 2014 – 2015 годах изучены по урожайности зерна.

Комбинационная способность линий и тестеров по признаку «урожайность зерна» определена методом полных топкроссов [5]. Нами вычислены оценки эффектов СКС, которые можно использовать для определения специфической комбинационной способности линий в конкретной ги-

бридной комбинации. Однако, следуя рекомендациям Гриффинга [6], для выявления среди изучаемого набора линий, в среднем с высокой или низкой специфической комбинационной способностью, вычислена для каждой линии дисперсия (варианса) на основе эффектов СКС.

Используя наименьшую существенную разность самоопыленные линии кукурузы ранжированы по ОКС: к первому рангу отнесены линии с высокой ОКС, по второму – со средней и к третьему с низкой ОКС. Сопоставляя варианты со средней вариансой самоопыленные линии ранжированы по СКС: к первому рангу отнесены линии с высокой, а ко второму с низкой СКС.

Годы изучения тесткроссных гибридов оказались различными по метеоусловиям. В целом 2014 год следует считать неблагоприятным для роста и развития растений кукурузы: почвенная и воздушная засуха сочеталась с высокой температурой воздуха ( $40^{\circ}\text{C}$ ), относительная влажность воздуха снижалась менее 25 %, отмечались суховейные явления. В 2015 году в целом условия сложились благоприятно для роста и развития растений. За период вегетации выпало 230,7 мм атмосферных осадков (115 % к среднемноголетней нормы), засушливые явления отмечались только в конце вегетации растений кукурузы. Контрастность лет проведения эксперимента позволили выявить изменчивость оценок комбинационной способности в зависимости от условий внешней среды.

**Результаты.** Тесткроссные гибриды существенно различались по урожайности зерна на основании дисперсионного анализа первичных данных. Результаты дисперсионного анализа комбинационной способности позволяют утверждать о наличии достоверных различий ( $F_{\text{факт}} > F_{\text{теор}}$ ) по ОКС и СКС самоопыленных линий и тестеров. Аддитивная варианса по величине превосходила не аддитивную, что свидетельствует о большем влиянии на урожайность зерна гибридов в целом по опыту генов аддитивного действия.

Общую комбинационную способность определяли по величине оценок эффектов ОКС ( $g_i$ ). В 2014 году НСР для сравнения со средней ОКС составила 0,19; стандартная линия Бг 1081 характеризовалась высокой оценкой эффектов ОКС (0,33) (табл. 1).

1. Общая и специфическая комбинационная способность раннеспелых самоопыленных линий кукурузы по признаку «урожайность зерна», 2014 – 2015 гг.

Линии	Оценки эффектов ОКС ( $g_i$ )		Ранги по ОКС		Вариансы СКС ( $\delta^2si$ )		Ранги по СКС	
	2014	2015	2014	2015	2014	2015	2014	2015
Бг 1081, стандарт	0,33	-0,01	1	2	0	0,05	2	2
СП 161	0,11	0,72	2	1	0,04	0,10	2	2
СП 162	-0,43	-0,18	3	2	0,02	0,07	2	2
СП 163	0,78	0,05	1	2	0,44	0,02	1	2
СП 164	-0,81	-0,25	3	3	0,01	0,24	2	1
СП 165	0,73	0,66	1	1	0,01	0,02	2	2
СП 166	0,01	-0,52	2	3	0,02	0,07	2	2
СП 167	0,56	0,14	1	2	0,17	0,90	1	1
СП 168	-0,44	0,03	3	2	0,07	0,05	2	2
СП 169	-0,51	-0,60	3	3	0,01	0,04	2	2
СП 170	-0,48	0,03	3	2	0,05	0,95	2	1
СП 171	0,53	0,31	1	1	0,04	0,91	2	1
СП 172	-0,41	-0,23	3	3	0,06	0,10	2	2
СП 173	-0,39	-0,34	3	3	0,20	0,05	1	2
СП 174	0,43	0,19	1	2	0	0	2	2
НСР05	0,19	0,20						
$\delta^2si$					0,08	0,21		

Высокими оценками эффектов ОКС в 2014 году обладали новые раннеспелые самоопыленные линии СП 163 (0,78), СП 165 (0,73), СП 167 (0,56), СП 171 (0,53), СП 174 (0,43). Они отнесены к первому рангу по ОКС. Средние оценки отмечены у новых линий СП 161 (0,11), СП 166 (0,01), которые отнесены ко второму рангу. Остальные самоопыленные линии: СП 162, СП 164, СП 168, СП 169, СП 170, СП 172, СП 173 ( $g_i = -0,39 - 0,81$ ) классифицированы как линии с низкой общей комбинационной способностью, что соответствует третьему рангу.

Специфическая комбинационная способность определена по величине дисперсии СКС ( $\delta_{si}^2$ ). В 2014 году средняя дисперсия СКС составила 0,08. Низкое значение дисперсии отмечено у стандартной линии Бг 1081 (0,02). Высокая специфическая комбинационная способность в 2014 году выявлена у новых самоопыленных линий СП 163 ( $\delta_{si}^2 = 0,44$ ), СП 167 ( $\delta_{si}^2 = 0,17$ ), СП 173 ( $\delta_{si}^2 = 0,20$ ), что соответствует первому рангу. Все остальные линии имели низкую специфическую комбинационную способность и отнесены ко второму рангу.

Среди изученных новых линий сочетанием высокой общей и специфической комбинационной способности характеризовались СП 165 и СП 171. Такие линии считаются наиболее ценными для гетерозисной селекции, создания высокопродуктивных гибридных комбинаций.

Изучение тесткроссных гибридов в контрастные по метеоусловиям годы позволило проанализировать взаимодействие комбинационной способности с условиями внешней среды. Выявлена значительная изменчивость оценок эффектов ОКС и дисперсии СКС в 2015 году в сравнении с 2014 годом. НСР для сравнения со средней ОКС составила 0,20. Стандартная линия Бг 1081 в 2015 году снизила оценки эффектов ОКС (-0,01) и была отнесена ко второму рангу по ОКС. Высокие оценки эффектов ОКС ( $g_i$ ) в 2015 году имели новые линии СП 161 (0,72), СП 165 (0,66), СП 171 (0,31). Примечательно, что линии СП 165 и СП 171 характеризовались высокой ОКС и в 2014 году. Стабильное проявление высокой общей комбинационной способности у линий СП 165 и СП 171, в различных условиях внешней среды, являются основанием для широкого вовлечения их в скрещивания с целью создания высокогетерозисных гибридов кукурузы.

Изменчивостью оценок эффектов ОКС характеризовались линии: СП 163 (0,05), СП 167 (0,14) и СП 174 (0,19). В связи со снижением оценок в 2015 году они отнесены ко второму рангу со средней ОКС. Более половины линий (9 из 15) изменили оценки эффектов ОКС в 2015 году по срав-

нению с 2014 годом, что является следствием реакции тесткроссных гибридов, в состав которых входят эти линии, на условия выращивания. Однако, не отмечено ни одного случая, когда линии перешли из ранга с высокой ОКС (первый) в ранг с низкой ОКС (третий) или наоборот. Перемещение происходило только в пределах соседних рангов.

Результаты оценки специфической комбинационной способности позволили в 2015 году выявить линии с высокими вариансами СКС СП 164 (0,24), СП 167 (0,90), СП 170 (0,95), СП 171 (0,91). Только самоопыленная линия СП 167 характеризовалась стабильно высокой СКС по годам. Учитывая, что в 2014 году у нее выявлена высокая ОКС, можно прогнозировать создание высокогетерозисных гибридных комбинаций с ее участием.

Оценка общей и специфической комбинационной способности по признаку урожайность зерна позволяет провести отбор наиболее перспективных линий и браковку наименее ценных.

Новые самоопыленные линии с низкими и средними по величине оценками эффектов ОКС и низкими вариансами СКС: СП 162, СП 166, СП 168, СП 169 и СП 172 не представляют ценности для селекции на гетерозис и подлежат выбраковке. Самоопыленная линия СП 164 с низкой общей комбинационной способностью, несмотря на высокие значения СКС в 2015 году (0,24) так же относится к менее ценным.

Результаты изучения общей комбинационной способности тестеров представлены в таблице 2.

2. Общая комбинационная способность по признаку «урожайность зерна»раннеспелых тестеров, 2014 -2015 гг.

Тестеры	Оценка эффектов ОКС (g <sub>i</sub> )		Ранги по ОКС	
	2014	2015	2014	2015
Мадонна М	0,04	0,19	2	1
Т 6 М	-0,21	-0,33	3	3
Т 7 М	0,17	0,14	1	1
НСР <sub>05</sub>	0,07	0,08		

Высокими оценками эффектов ОКС как в 2014, так и в 2015 году отличился тестер Т 7 М (0,17 и 0,14). Тестер Мадонна М характеризовался изменчивостью ОКС (0,04 и 0,19). Стабильно низкие по годам оценки ОКС (-0,21, 0,33) имел тестер Т 6 М. Полученные результаты позволяют рекомендовать для широкого вовлечения в скрещивания тестеры Мадонна М, Т 7 М и отказаться от дальнейшего использования тестера Т 6 М.

Испытания тесткроссных гибридов позволило выявить высокопродуктивные гибридные комбинации. Примечательно, что все они созданы с участием выделенных самоопыленных линий по общей и специфической комбинационной способности (табл. 3).

### 3. Урожайность зерна раннеспелых тесткроссных гибридов кукурузы, 2014 – 2015 гг.

Линии	Урожайность зерна при 14 % влажности зерна, т/га		
	тестер Мадонна	тестер Т 6 М	тестер Т 7 М
Бг 1081, стандарт	4,34	3,85	4,23
СП 161	4,39	4,32	4,43
СП 162	3,72	3,56	3,74
СП 163	4,45	3,93	4,80
СП 164	3,33	3,37	3,63
СП 165	4,88	4,34	4,78
СП 166	3,70	3,60	3,84
СП 167	4,80	3,51	4,67
СП 168	3,86	3,68	3,77
СП 169	3,47	3,17	3,61
СП 170	3,71	3,68	3,88
СП 171	4,85	3,67	4,67
СП 172	3,71	3,39	3,87
СП 173	3,77	3,51	3,57
СП 174	4,40	4,02	4,45

НСР<sub>05</sub> 0,37... 0,41

Тесткроссные гибриды значительно различались по урожайности зерна (3,17 – 4,88 т/га). Лучший тесткроссный гибрид созданный на основе стандартной линии Мадонна М × Бг 1081 имел урожайность 4,34 т/га.

С участием новой линии СП 165, характеризующейся стабильно высокими по годам оценками эффектов ОКС, созданы высокопродуктивные гибриды Мадонна М × СП 165 (4,88 т/га) и Т 7 М × СП 165 (4,78 т/га).



На основе новой линии СП 167, которая имела стабильно высокую по годам специфическую комбинационную способность, а в 2014 году – высокую общую комбинационную способность, получены высокогетерозисные гибриды Мадонна М × СП 167 (4,80 т/га) и Т 7 М × СП 167 (4,67 т/га). Самоопыленная линия СП 171 со стабильно высокой ОКС и высокой СКС в 2015 году, вошла в состав высокопродуктивных гибридных комбинаций Мадонна М × СП 171 (4,85 т/га), Т 7 М × СП 171 (4,67 т/га).

Самоопыленные линии Бг 1081, СП 161, СП 163, СП 174, СП 164, СП 170, СП 173 характеризующиеся высокими значениями ОКС или СКС только в одном году исследований, то есть не имеющие стабильного проявления значений общей или специфической комбинационной способности по годам, оказались менее перспективны для создания высокопродуктивных гибридов. Только с участием линии СП 163 отличающейся значительной изменчивостью ОКС и СКС получена высокопродуктивная гибридная комбинация СП 163 × Т 7 М (4,80 т/га).

**Выводы.** Изучение новых раннеспелых самоопыленных линий кукурузы и тестеров в системе топкроссных скрещиваний по урожайности зерна позволило дифференцировать их по ценности для гетерозисной селекции.

Выявлена изменчивость общей комбинационной и специфической комбинационной способности от условий внешней среды. Выделены новые линии СП 165 и СП 175 со стабильно высокими оценками эффектов ОКС ( $g_i$ ), высокой стабильностью вариантов СКС ( $\delta_{si}^2$ ) характеризовалась новая линия СП 167. высокую общую комбинационную способность имели тестеры Мадонна М и Т 7 М.

На основе выделенных линий и тестеров созданы новые высокопродуктивные гибридные комбинации Мадонна М × СП 165 (4,88 т/га), Мадонна М × СП 171 (4,85 т/га), Т 7 М × СП 165 (4,78 т/га) и другие.

Рекомендуется включение в программу скрещиваний новых самоопыленных линий и тестеров с высокой общей и специфической комбинационной способностью.

### Литература

1. Юкенгеймер Р. У. Кукуруза: улучшение сортов, производство семян, использование. М., Колос. 1979. 519 с.
2. Сотченко В. С. Сравнительная оценка методов изучения комбинационной способности линий кукурузы / В.С. Сотченко Автореферат дис. кан-та с.-х. наук. Ленинград. 1970. 24 с. 3. Орлянский Н. А. Определение селекционной ценности самоопыленных линий кукурузы / Н. А. Орлянский, А. Н. Орлянская //Генетика, селекция и технология возделывания кукурузы: Сб. науч. тр. междунар. науч. – практ. конф. «Золотое наследие академика ВАСХНИЛ М. И. Хаджинова». КНИИСХ. – Краснодар, 2009. – С. 82 – 88.
4. Кривошеев Г. Я. Общая и специфическая комбинационная способность самоопыленных линий кукурузы по признаку урожайность зерна / Г. Я. Кривошеев, Н. А. Шевченко // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. - Краснодар: КубГАУ, 2014. № 104(10), Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/47.pdf>
5. Методические рекомендации по применению математических методов для анализа экспериментальных данных по изучению комбинационной способности / Сост.: Вольф В.Г., Литун П.П., Хавелова А.В., Кузьменко Р.И. – Харьков, 1980. 74 с.
6. Griffing B. A. Concept of general specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Austral. Jour. Biol. Sci. 1956. 9,4 P. 463 – 493.

### References

1. Jukengejmer R. U. Kukuruz: uluchshenie sortov, proizvodstvo semjan, ispol'zovanie. M., Kolos. 1979. 519 s.
2. Sotchenko V. S. Sravnitel'naja ocenka metodov izuchenija kombinacionnoj sposobnosti linij kukuruzy / V.S. Sotchenko Avtoreferat dis. kan-ta s.-h. nauk. Lenin-grad. 1970. 24 s. 3. Orljanskij N. A. Opredelenie selekcionnoj cennosti samoopylen-nyh linij kukuruzy / N. A. Orljanskij, A. N. Orljanskaja //Genetika, selekcija i tehnologija vzdelyvanija kukuruzy: Sb. nauch. tr. mezhdunar. nauch. – prakt. konf. «Zolotoe nasledie akademika VASHNIL M. I. Hadzhinova». KNIISH. – Krasnodar, 2009. – S. 82 – 88.
4. Krivosheev G. Ja. Obshhaja i specificheskaja kombinacionnaja sposobnost' samoopylennyh linij kukuruzy po priznaku urozhajnost' zerna / G. Ja. Krivosheev, N. A. Shevchenko // Nauchnyj zhurnal KubGAU [Elektronnyj resurs]. - Krasnodar: KubGAU, 2014. № 104(10), Rezhim dostupa: <http://ej.kubagro.ru/2014/10/pdf/47.pdf>

5. Metodicheskie rekomendacii po primeneniju matematicheskikh metodov dlja ana-liza jeksperimental'nyh dannyh po izucheniju kombinacionnoj sposobnosti / Sost.: Vol'f V.G., Litun P.P., Havelova A.V., Kuz'menko R.I. – Har'kov, 1980. 74 s.

6. Griffing B. A. Concept of general specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Austral. Jour. Biol. Sci. 1956. 9,4 P. 463 – 493.