

Научная статья

УДК 633.111.1:57.03

DOI: 10.25230/2412-608X-2024-4-200-70-75

## Оценка общей и специфической комбинационной способности самоопыленных линий кукурузы по признакам урожайности и уборочной влажности зерна

Евгений Валерьевич Шкарбутко  
Илья Романович Люлюк  
Александр Васильевич Гульяшкин  
Николай Александрович Лемешев

Национальный центр зерна имени П.П. Лукьяненко  
Россия, 350012, г. Краснодар, Центральная  
усадьба КНИИСХ  
Тел.: 8 (918) 241-71-63  
kniish@kniish.ru

**Аннотация.** Цель исследования – оценить общую и специфическую комбинационную способность (ОКС и СКС) самоопыленных линий кукурузы по признакам урожайности зерна и уборочной влажности. Исследования проводили на полях НЦЗ им. П.П. Лукьяненко в 2020–2022 гг. в соответствии с методикой ВНИИ кукурузы для проведения полевых опытов с кукурузой. Оценка выполняли на основе тест-кроссов, используя пять тестеров. По результатам были выявлены значительные различия в комбинационной способности линий, что позволило выделить наиболее перспективные генотипы.

**Ключевые слова:** кукуруза, комбинационная способность, урожайность зерна, уборочная влажность, тесткроссы, самоопыленные линии

*Для цитирования:* Шкарбутко Е.В., Люлюк И.Р., Гульяшкин А.В., Лемешев Н.А. Оценка общей и специфической комбинационной способности самоопыленных линий кукурузы по признакам урожайности и уборочной влажности зерна // Масличные культуры. 2024. Вып. 4 (200). С. 70–75.

**Evaluation of general and specific combining abilities of self-pollinated corn lines for yield and harvest moisture of grains**

Shkarbutko E.V., director of Experimental station  
Lyulyuk I.R., researcher  
Gulnyashkin A.V., chief researcher, PhD in agriculture  
Lemeshev N.A., senior researcher, PhD in agriculture

**Abstract.** The objective of the study was to evaluate the general and specific combining abilities (GCA and SCA) of self-pollinated corn lines for yield and harvest moisture of grain. The research was conducted on the fields of the P.P. Lukyanenko National Grain Center in 2020–2022 due to the methodology of the All-Russian Research Institute of Corn for field experiments with corn. The evaluation was based on test-crosses using five testers. The results revealed significant differences in the combining ability of the lines, identifying the most promising lines for further use in breeding programs.

**Key words:** corn, combining ability, grain yield, harvest moisture, testcrosses, self-pollinated lines

**Введение.** Комбинационная способность является одним из ключевых показателей при создании гетерозисных гибридов кукурузы. Она позволяет оценить генетический потенциал самоопыленных линий и их способность к успешному взаимодействию с другими линиями. Используя оценку общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности линий кукурузы, можно выделить наиболее перспективные для использования в селекционных программах. Исследования в данной области особенно актуальны в условиях современных требований к гибридам кукурузы, которые должны обладать не только высокой урожайностью, но и минимальными затратами на постуборочную обработку. Полученные результаты позволили выявить перспективные линии для дальнейшего использования в селекционных программах центра.

**Материалы и методы.** Исследования проводились на полях Национального центра зерна имени П.П. Лукьяненко (Краснодарский край, Россия) в течение трех вегетационных сезонов: 2020, 2021 и 2022 гг. Почва опытных участков представлена черноземами, климат умеренно континентальный, что способствует высоким урожаям кукурузы, но требует учета колебаний погодных условий для корректного анализа данных [4]. Использовали 58 самоопыленных линий кукурузы (обозначены как ЛЕ 603, ЛЕ 637 и т.д.).

Для оценки комбинационной способности линий было проведено тестирование с использованием пяти тестеров. В результате было получено 290 комбинаций, которые подвергались анализу по признакам урожайности и влажности зерна. Тестеры обозначены как Кр714М × Кр0613зМ, Кр0610 × Кр003 и т.д.

Полевые опыты были организованы в формате рендомизированного полного блока с тремя повторениями для каждого тест-красса. Каждый опыт представлял собой участок площадью 10 м. кв.

Урожайность зерна определяли в фазе полной зрелости путем сбора всего урожая с участка и пересчета на стандартные показатели влажности (14 %). Уборочную влажность измеряли непосредственно после сбора початков с каждого участка. Проводили стандартные измерения влажности зерна по ГОСТ 13586.5-2015 [1].

Эффекты общей комбинационной способности (ОКС) (Gi) рассчитывали для каждой линии на основе среднего эффекта её участия в комбинациях с тестерами. Расчеты проводились по методу Griffing (метод 2, модель 1) [2].

Вариансу специфической комбинационной способности (СКС) ( $\sigma^2Si$ ) определяли для каждого тест-красса по признаку урожайности и влажности зерна. Данные варианты позволяют оценить уникальные взаимодействия между линиями и тестерами.

Для статистического анализа применяли дисперсионную оценку, а для выявления значимых различий – критерий LSD ( $НСР_{05}$ ) на уровне значимости 5 %. Программу Excel использовали для предварительной обработки данных, а специализированное программное обеспечение (например, SAS или SPSS) – для дисперсионного анализа [3].

Погодные условия в годы исследования различались между собой, что влияло на результаты экспериментов. В 2020 г. наблюдались относительно стабильные погодные условия, в 2021 и 2022 гг. – значительные колебания температурного ре-

жима, сопровождавшиеся продолжительными периодами засухи. Эти данные учитывали при анализе стабильности линий и их комбинационной способности [4; 5; 6].

Целью данного исследования являлась оценка общей и специфической комбинационной способности новых самоопыленных линий кукурузы по признакам урожайности и уборочной влажности зерна в условиях Краснодарского края, что обусловлено необходимостью выявления наиболее перспективных линий для создания высокоурожайных гибридов. Анализ ОКС позволяет оценить вклад каждой линии в общую урожайность, что является ключевым фактором для повышения эффективности селекционных программ [7].

В задачи исследования входило: провести оценку общей комбинационной способности (ОКС) самоопыленных линий кукурузы по признаку урожайности зерна в течение трех лет (2020–2022 гг.); определить специфическую комбинационную способность (СКС) новых самоопыленных линий кукурузы по признаку уборочной влажности зерна; сравнить влияние разных тестеров на урожайность и влажность зерна для выявления наиболее перспективных комбинаций для гибридизации; провести анализ стабильности показателей ОКС и СКС в зависимости от погодных условий и тестеров в разные годы исследований.

**Результаты и обсуждение.** Результаты оценки общей комбинационной способности (ОКС) самоопыленных линий кукурузы по признаку урожайность зерна за 2020–2022 гг. представлены в таблице 1. Наблюдается значительная изменчивость показателей как между линиями, так и по годам.

Наибольшие эффекты ОКС наблюдались у линий ЛЕ 626 (17,24 в 2020 г.), ЛЕ 603 (16,94 в 2021 г.) и ЛЕ 637 (14,38 в 2020 г.). Это свидетельствует о высоком потенциале продуктивности указанных линий для создания гибридов с повышенной урожайностью.

Таблица 1

**Оценки ОКС самоопыленных линий по признаку урожайность зерна**

НЦЗ им. П. П. Лукьяненко, 2020–2022 гг.

Линия	Эффекты ОКС (Gi)			Урожайность зерна тесткроссов в среднем по тестерам, т/га			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
ЛЕ 603	11,94	16,94	3,08	5,00	6,69	7,1	6,26
ЛЕ 637	14,38	9,82	4,93	5,24	5,98	7,28	6,17
ЛЕ 617	13,53	7,22	7,69	5,16	5,72	7,56	6,15
ЛЕ 602	6,44	8,86	10,2	4,45	5,88	7,81	6,05
ЛЕ 626	17,24	7,35	0,38	5,53	5,73	6,83	6,03
ЛЕ 638	10,93	12,08	0,41	4,89	6,21	6,83	5,98
ЛЕ 635	4,21	6,88	8,61	4,23	5,68	7,65	5,85
ЛЕ 622	6,17	6,07	4,5	4,42	5,61	7,24	5,76
ЛЕ 634	10,42	4,11	2,03	4,85	5,41	6,99	5,75
ЛЕ 625	12,15	0,35	2,72	5,02	5,03	7,06	5,70
Среднее	-	-	-	3,81	4,99	6,67	5,16
НСР <sub>05</sub>	1,60	1,52	1,52	-	-	-	-

Средняя урожайность тест-кроссов по всем линиям составила 5,16 т/га, при этом наибольшая была получена в 2022 г. (6,67 т/га). Линии ЛЕ 603 и ЛЕ 637 показали стабильные результаты по урожайности тест-кроссов в разные годы, что свидетельствует о высокой стабильности этих линий в условиях варьирующих агроклиматических факторов Краснодарского края.

Особый интерес представляет линия ЛЕ 626, которая продемонстрировала один из самых высоких эффектов ОКС в 2020 г. Это является доказательством её положительной реакции на благоприятные погодные условия в конкретный год, что также указывает на её потенциальную пригодность для использования в условиях стабильного водообеспечения.

Линия ЛЕ 603 проявила максимальный эффект ОКС в 2021 г. (16,94), что соответствует высокой урожайности тест-кроссов в этот период (6,69 т/га). Линия ЛЕ 637 продемонстрировала стабильные показатели урожайности (в среднем 6,17 т/га), что свидетельствует о её адаптивности.

В целом, средняя урожайность возросла с 3,81 т/га в 2020 г. до 6,67 т/га в 2022 г., что указывает на влияние агроклиматических условий на результаты испытаний.

В таблице 2 представлены результаты оценки общей комбинационной способности (ОКС) и специфической комбинационной способности (СКС) самоопыленных линий кукурузы по признаку уборочная влажность зерна за 2020–2022 гг.

Таблица 2

**Оценки ОКС и СКС новых самоопыленных линий кукурузы по признаку уборочная влажность зерна**

НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, 2020–2022 гг.

Линия	Эффекты ОКС (Gi)				Варианса СКС( $\sigma^2_{si}$ )		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	2020 г.	2021 г.	2022 г.
ЛЕ 608	-1,32	-0,22	-1,34	-0,96	3,07	-0,08	0,35
ЛЕ 613	-0,83	-0,25	-1,30	-0,79	4,49	-0,09	1,77
ЛЕ 657	-0,79	-0,18	-1,03	-0,67	1,49	0,10	0,05
ЛЕ 654	-0,51	-0,17	-1,06	-0,58	1,40	0,03	1,00
ЛЕ 611	-0,70	0,21	-1,20	-0,56	1,74	0,01	4,49
ЛЕ 653	-0,45	-0,10	-1,10	-0,55	1,51	0,02	-0,01
ЛЕ 645	-0,21	-0,24	-1,12	-0,52	1,03	0,01	0,14
Среднее	-	-	-	-	2,07	0,17	1,22
НСР <sub>05</sub>	0,38	0,31	0,66	-	-	-	-

Величины ОКС показывают тенденцию к снижению влажности зерна для всех линий, что положительно сказывается на возможности более ранней уборки. Наиболее выраженный эффект демонстрируют линии ЛЕ 608 и ЛЕ 613, где средние эффекты ОКС составили -0,96 и -0,79 соответственно. Вариации СКС показывают значительное различие между годами. Линии ЛЕ 613 и ЛЕ 611 выделяются высокими значениями вариации СКС в 2022 г. (1,77 и 4,49 соответственно), что указывает на их потенциальную адаптивную реакцию на условия среды. Средняя вариация СКС для всех линий колеблется от

0,17 в 2021 г. до 2,07 в 2020 г., что отражает стабильность большинства линий в условиях разных лет.

Результаты оценки ОКС и СКС тестеров по признаку урожайность зерна представлены в таблице 3. Тестер Кр742м показал наибольший средний эффект ОКС (5,36), что свидетельствует о его высокой комбинационной способности для гетерозисной селекции. Высокие значения вариации СКС у тестера Кр742м также подтверждают значительную вариабельность его сочетания с различными линиями, что делает его перспективным для использования в селекции при создании высокоурожайных гибридов.

Таблица 3

**Оценки ОКС и СКС тестеров по признаку урожайность зерна**

НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, 2020–2022 гг.

Тестер	Эффекты ОКС ( $G_i$ )				Вариансы СКС ( $\sigma^2_{Si}$ )			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
Кр714м x Кр0613зм	-4,78	-0,46	-2,69	-2,64	28,89	55,02	63,04	48,98
Кр0610 x Кр003	-2,50	-0,45	-1,73	-1,56	57,34	42,89	38,25	46,16
Кр0228 x Кр0718	-2,42	4,31	1,03	0,97	72,02	52,63	68,68	64,44
Кр0357 x Кр0681	-1,38	-5,99	0,99	-2,13	37,38	51,41	44,36	44,38
Кр742м	11,09	2,58	2,41	5,36	60,33	92,37	51,81	68,17
Среднее	-	-	-	-	51,19	58,86	53,23	54,43
НСР <sub>05</sub>	0,40	0,40	0,40	0,40	-	-	-	-

Представленные в таблице 4 данные показывают, что величины СКС варьируются в зависимости от линии и года испытаний. Так, например, линия ЛЕ 615 продемонстрировала наиболее высокие значения СКС в 2021 г. (203,62), тогда как для линии ЛЕ 648 наибольшая специфическая комбинационная способность отмечена в 2020 г. (189,72). Некоторые линии, такие как ЛЕ 619, имели значительные колебания СКС в зависимости от года (от 91,50 в 2021 г. до 216,56 в 2022 г.).

В то же время средние значения по годам показывают стабильные тенденции по каждой линии. Так, линии ЛЕ 615 и ЛЕ 648 демонстрируют наиболее высокие средние показатели СКС (163,66 и 160,36 соответственно), что указывает на их устойчивость к различным условиям выращивания. Линии ЛЕ 627, ЛЕ 645 и 607 ЛЕ показывают значительное снижение вариации в

2021 г. по сравнению с 2020 и 2022 гг., что свидетельствует о влиянии агротехнических условий или других факторов в этот период.

Таблица 4

**Оценки СКС ( $\sigma^2_{Si}$ ) самоопыленных линий кукурузы по признаку урожайность зерна**

НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, 2020–2022 гг.

Линии	Вариансы СКС ( $\sigma^2_{Si}$ ) по признаку урожайность зерна			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
ЛЕ 615	109,54	203,62	177,81	163,66
ЛЕ 648	189,72	161,77	129,60	160,36
ЛЕ 627	228,03	74,83	139,66	147,51
ЛЕ 619	129,95	91,50	216,56	146,00
ЛЕ 622	161,80	135,70	116,12	137,87
ЛЕ 623	211,89	106,93	94,58	137,80
ЛЕ 645	233,47	42,49	150,97	142,31
ЛЕ 607	33,14	206,46	153,14	130,91
$\sigma^2_{Si}$ среднее	64,42	73,71	66,79	-

Средние значения  $\sigma^2Si$  по годам также подчеркивают изменения в специфической комбинационной способности в зависимости от условий каждого года. Эти данные позволяют выделить линии с высокой стабильностью по показателю СКС в различные годы, что является важным для дальнейшей селекции и создания новых гибридов кукурузы, устойчивых к изменению внешних факторов.

Таблица 5 содержит результаты оценки СКС самоопыленных линий кукурузы по признаку уборочная влажность зерна за три года исследований: 2020, 2021 и 2022, которые позволяют выявить различия между линиями по их способности к снижению влажности зерна при уборке.

Таблица 5

**Оценка специфической комбинационной способности ( $\sigma^2si$ ) самоопыленных линий кукурузы по признаку уборочная влажность зерна**

НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, 2020–2022 гг.

Линия	Вариансы СКС ( $\sigma^2si$ ) по признаку урожайность зерна			
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	Среднее
ЛЕ 600	0,76	-0,07	7,21	2,63
ЛЕ 609	3,66	-0,03	2,64	2,09
ЛЕ 610	4,42	0,26	2,39	2,35
ЛЕ 611	1,74	0,01	4,49	2,08
ЛЕ 613	4,49	-0,09	1,77	2,06
ЛЕ 619	4,06	0,07	5,38	3,17
ЛЕ 623	4,65	0,00	2,22	2,29
ЛЕ 644	6,70	0,20	0,88	2,59
$\sigma^2Si$ среднее	2,07	0,17	1,22	1,15

Линия ЛЕ 600 показала наибольшие колебания в значениях СКС: от отрицательного значения в 2021 г. (-0,07) до максимального значения в 2022 г. (7,21), что привело к усредненному показателю 2,63. Линии ЛЕ 609 и ЛЕ 613 также имели отрицательные значения СКС в 2021 г., что свидетельствует о снижении их специфической комбинационной способности по данному признаку в этот период.

Линии ЛЕ 644 и ЛЕ 619 показывают относительно стабильные результаты по годам, имея максимальные средние значения (2,59 и 3,17 соответственно), что говорит об их потенциале для снижения уборочной влажности в различных условиях. При этом наиболее высокая СКС среди всех линий зафиксирована у ЛЕ 644 в 2020 г. (6,70), тогда как средние значения по годам для большинства линий остаются ниже этого уровня.

Средние показатели по годам указывают на значительное колебание специфической комбинационной способности по признаку влажности зерна: максимальное значение отмечено в 2020 г. (2,07), минимальное – в 2021 г. (0,17). Это подчеркивает влияние погодных условий или агротехнических факторов на результативность данных линий кукурузы по изучаемому признаку.

**Заключение.** Линии ЛЕ 626, ЛЕ 603 и ЛЕ 637 показали высокие эффекты ОКС, что свидетельствует об их потенциале для создания высокоурожайных гибридов. Максимальная средняя урожайность тестеров была получена в 2022 г. (6,67 т/га), что подчеркивает адаптивность линий ЛЕ 603 и ЛЕ 637, урожайность которых в этот год достигла 7 т/га и 7,28 т/га соответственно. Линия ЛЕ 626 проявила высокий эффект ОКС в 2020 г., что указывает на её чувствительность к стабильному водообеспечению.

Линии ЛЕ 608 и ЛЕ 613 продемонстрировали минимальную уборочную влажность, что подтверждает их перспективность для использования в условиях с повышенной влажностью. Тестер Кр742м имел максимальный эффект ОКС, что указывает на его потенциал в качестве родительской формы для повышения урожайности.

У линий ЛЕ 615 и ЛЕ 648 отмечены высокие значения СКС и устойчивость этого показателя по годам исследования, тогда как ЛЕ 619 показала значительные колебания, что требует дополнительных исследований. В целом, исследуемые линии

имеют различия в комбинационной способности, что позволяет выделить наиболее перспективные для дальнейшей селекционной работы.

По результатам проведенных исследований можно рекомендовать включение линий ЛЕ 603 и ЛЕ 637 в селекционную работу для создания гибридов с высокой урожайностью, использование ЛЕ 608 и ЛЕ 613 для выведения гибридов с низкой влажностью зерна, а также провести дополнительное изучение адаптивности линии ЛЕ 619. Эти результаты помогут улучшить селекционные программы центра и создать новые гибриды с высокой урожайностью и устойчивостью к внешним условиям.

#### Список литературы

1. ГОСТ 13586.5-2015 Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения влажности. – М.: Стандартинформ, 2011. – С. 109–114 с.
2. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Australian Journal of Biol. Sci. – 1956. – Vol. 9 (4). – P. 463–493.
3. Романова И.Н. Теоретические основы программирования урожаев сельскохозяйственных культур: учеб.-метод. указания для выполнения практич. работ. – Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2019. – 56 с.
4. Агроклиматический обзор за 2019–2020 сельскохозяйственный год по Краснодарскому краю. – Краснодар: КубГАУ, 2021.
5. Агроклиматический обзор за 2020–2021 сельскохозяйственный год по Краснодарскому краю. – Краснодар: КубГАУ, 2022.
6. Агроклиматический обзор за 2021–2022 сельскохозяйственный год по Краснодарскому краю. – Краснодар: КубГАУ, 2023.
7. Гульняшкин А.В., Лемешев Н.А., Земцев А.А., Люлюк И.Р. Оценка нового исходного материала (линий кукурузы) на принадлежность к гетерозисной группе зародышевой плазмы // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 162. – С. 239–246. DOI: 10.21515/1990-4665-162-017.

#### References

1. GOST 13586.5-2015 Semena sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vlazhnosti. – M.: Standartinform, 2011. – S. 109–114 s.
2. Griffing B. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems // Australian Journal of Biol. Sci. – 1956. – Vol. 9 (4). – P. 463–493.
3. Romanova I.N. Teoreticheskie osnovy programmirovaniya urozhayev sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: ucheb.-metod. ukazaniya dlya vypolneniya praktich. rabot. – Smolensk: FGBOU VO Smolenskaya GSKhA, 2019. – 56 s.
4. Agroklimaticheskiy obzor za 2019–2020 sel'skokhozyaystvennyy god po Krasnodarskomu krayu. – Krasnodar: KubGAU, 2021.
5. Agroklimaticheskiy obzor za 2020–2021 sel'skokhozyaystvennyy god po Krasnodarskomu krayu. – Krasnodar: KubGAU, 2022.
6. Agroklimaticheskiy obzor za 2021–2022 sel'skokhozyaystvennyy god po Krasnodarskomu krayu. – Krasnodar: KubGAU, 2023.
7. Gul'nyashkin A.V., Lemeshev N.A., Zemtsev A.A., Lyulyuk I.R. Otsenka novogo iskhodnogo materiala (liniy kukuruzy) na prinadlezhnost' k geterozisnoy gruppe zarodyshevoy plazmy // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 162. – S. 239–246. DOI: 10.21515/1990-4665-162-017.

#### Сведения об авторах

**Е.В. Шкарбутко**, директор опытной станции  
**И.Р. Люлюк**, науч. сотр.  
**А.В. Гульняшкин**, гл. науч. сотр., канд. с.-х. наук  
**Н.А. Лемешев**, ст. науч. сотр., канд. с.-х. наук

*Получено/Received*

24.09.2024

*Получено после рецензии/Manuscript peer-reviewed*

30.09.2024

*Получено после доработки/Manuscript revised*

04.10.2024

*Принято/Accepted*

31.10.2024

*Manuscript on-line*

25.12.2024