

# ПРИМЕНЕНИЕ ДИАЛЛЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИЗУЧЕНИИ КОМБИНАЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ КУКУРУЗЫ

**ЗАЙЦЕВ Сергей Александрович, Российский научно-исследовательский  
и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «РоссоСорго»**

**Анализируются результаты применения dialleльного анализа при изучении самоопыленных линий кукурузы. Отмечена средняя урожайность зерна у самоопыленных линий (2,30–2,84 т/га), а также среднегрупповые показатели гибридов (3,29–5,49 т/га). Выявлены эффекты общей и дисперсия специфической комбинационной способности линий. Ранжирование по урожайности зерна позволило расположить линии в следующей последовательности: CL 7 < МК 130 У < РСК 25 < РН26 < Ук12Д2, Ом 255 < МК 11 < Х46 < Бг1266 < ЛВ32 < РСК 7 < ЮВ 19 < РСК 3 < Ом232, КС 25 < Од 28. Результаты анализа комбинационной способности самоопыленных линий кукурузы указывают на низкое значение эффектов ОКС у линий CL 7, Х46 и высокий эффект ОКС у линий РСК 7, МК11, РСК 3. Существенно значимые показатели компонентов доминирования ( $H_1, H_2$ ), по абсолютной величине превышают значения компонента D, характеризующего аддитивное действие генов. Разность между общей средней признака у всего потомства (m11) и средней родительских форм (m10) имеет положительные значения, что указывает на то, что доминирование направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака. Анализ компонентов указывает на то, что в зависимости от условий выращивания, на проявление урожайности зерна влияют 2–7 генов или групп генов. В 2016–2017 гг. существенное влияние на урожайность зерна оказывал парамитический компонент дисперсии (E).**

16

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

2020



**Введение.** Успех и продолжительность выведения новых сортов и гибридов кукурузы во многом зависят от правильного подбора исходного материала, представляющего начальный этап селекционной работы [9]. Оценка комбинационной способности является одним из наиболее распространенных и эффективных методов генетического анализа исходного селекционного материала [4]. Для оценки комбинационной способности используются различные методы: свободное опыление, поликросс, топкросс и диаллельные скрещивания. Использование диаллельной схемы скрещиваний в отличие от других методов изучения комбинационной способности более трудоемко. Однако данный способ позволяет получить наиболее точную информацию об общей и специфической комбинационной способности, а также с его помощью возможно определить некоторые компоненты генетической дисперсии. В связи с этим диаллельный анализ нашел применение в работах с такими сельскохозяйственными культурами, как подсолнечник [8], рожь [3], соя [7] и ряд других. Оценка ОКС и СКС является наиболее ответственным этапом селекционной работы с инбредными линиями [6]. Точность оценки и ее пригодность для различных условий в значительной мере определяют возможность получения  $F_1$  гибридов, обеспечивающих высокие показатели хозяйствственно-ценных признаков в различных регионах возделывания [1, 13]. Считается, что СКС подвержена действию модифицирующих факторов сильнее, чем ОКС, поэтому для получения надежных данных о характере наследования признака у конкретных комбинаций скрещивания необходимы испытания в течение длительного

периода времени и в различных агроклиматических условиях [14].

Целью исследований являлось установление на разнообразном исходном материале (линия кукурузы) проявления эффектов ОКС и СКС, а также некоторых компонентов генетической дисперсии по признаку «урожайность зерна».

**Методика исследований.** Полевые опыты проводили в 2016–2019 гг. на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «РоссоСорго» в соответствии с методикой [1]. Климат региона характеризуется как резко континентальный. ГТК в 2016 г. – 0,48, в 2017 г. – 1,05, в 2018 г. – 0,61, в 2019 г. – 0,56. Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемощный тяжелосуглинистый. В пахотном слое содержание гумуса (по Тюрину) составляет 3,80–4,60 %, общего азота – 0,17–0,22 %, валового фосфора – 0,11–0,14 %, калия – 1,10–1,38 %. Плотность почвы составляет 1,20–1,32 г/см<sup>3</sup>, наименьшая влагоемкость (НВ) слоя 0–30 см – 101,1 мм, слоя 0–100 см – 295,6 мм.

Изучение комбинационной способности набора самоопыленных линий кукурузы проводилось в 2016–2019 гг. В эксперимент включены простые гибриды (120 комбинации), полученные по диаллельной схеме 16 гомозиготных линий (метод 2, модель 1 Гриффинга). Повторность – трехкратная. Учетная площадь делянки – 7,7 м<sup>2</sup>; длина делянки – 5,5 м. Густота стояния растений (45 тыс. раст./га). Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГБНУ РосНИИСК «РоссоСорго». Для проведения учетов и наблюдений использовали соответствующие методики [9, 12]. Комбинационную способность образцов определяли по II методу B. Griffing [14].

Генетический анализ компонентов генетической дисперсии проводили по В.И. Науман [15]. Обработка данных проводили с помощью компьютерной программы Agros-2.09.

**Результаты исследований.** В 2016–2019 гг. средняя урожайность зерна у самоопыленных линий варьировала от 2,30 т/га до 2,84 т/га (табл. 1). Среднегрупповые значения гибридов изменялись в пределах от 3,29 т/га до 5,49 т/га. Ранжирование по урожайности зерна позволило выявить определенную стабильность в годы исследования у линий CL 7, РСК3, X46, КС25, а также расположить их в зависимости от средней урожайности в следующей последовательности: CL 7 < МК 130 У < РСК 25 < РН26 < Ук12Д2, Ом 255 < МК 11 < Х46 < Бг1266 < ЛВ32 < РСК 7 < < ЮВ 19 < РСК 3 < Ом232, КС 25 < Од 28.

Ранжирование по среднегрупповым показателям выявило относительную стабильность у гибридов, включающих в родословную линии Мк 11, РСК 7, РСК 3. Среднегрупповые показатели урожайности гибридов позволили расположить исходные компоненты в следующем порядке: CL 7 < Х46 < Од 28 < Бг1266, Ом 255 < ЮВ 19 < ЛВ32 < КС 25 < Ом232 < < РСК 25 < Ук12Д2 < МК 130 У < РН26 < РСК 7, РСК 3 < МК 11.

Результаты анализа ОКС и СКС самоопыленных линий кукурузы, проведенного по диаллельной схеме, указывают на низкое значение эффектов ОКС по признаку «урожайность зерна» линий CL 7, X46. Высокий эффект ОКС отмечен у следующих компонентов скрещиваний: РСК 7, Мк11, РСК 3. (табл. 2). Относительно высокая дисперсия СКС в различные годы отмечена у линий РСК 3, Бг 1266, РН 26, Мк 11. Анализ данных указывает на то, что степень силы проявления эффектов ОКС

и дисперсии СКС в некоторой степени изменяется под воздействием условий выращивания. Данное положение совпадает с аналогичными исследованиями с другим набором линий [5].

Относительно высокие эффекты СКС выявлены в комбинациях: МК 11/РСК 7 (0,408-0,981), МК 11/ЮВ 19 (0,486-0,828), РН26/МК 11 (0,110-1,743), РН26/РСК 25 (0,305-0,738), РН26/Ом232 (0,425-1,324), Ук12Д2/РСК 25 (0,362-0,746), Ук12Д2/КС 25 (0,162-1,236), Х46/КС 25 (0,249-1,869), CL-7/РСК 3 (0,240-2,086), ЮВ 19/Бг1266 (0,221-1,597), ЛВ32 /Од 28 (0,260-0,841), РСК 7 /РСК 3 (0,331-0,528).

Метод диаллельных скрещиваний также позволяет установить характер наследования количественных признаков, получить информацию о других генетических свойствах анализируемых форм (об аддитивных эффектах генов, степени и направлении доминирования генов, контролирующих развитие признаков, о соотношении частот домinantных и рецессивных генов в определенном локусе) [8].

В опыте отмечается отрицательная корреляция между значением признака и доминированием у родительских линий: -0,60 (2016 г.), -0,85 (2017 г.), -0,92 (2018 г.), -0,90 (2019 г.). Существенно значимые показатели компонентов доминирования ( $H_1, H_2$ ), по абсолютной величине превышают значения компонента D, характеризующего аддитивное действие генов (табл. 3). Разность между общей средней признака у всего потомства (ml1) и средней родительских форм (ml0) имеет положительные значения, что указывает на то, что доминирование направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака.

В 2016–2019 гг. отношение  $\sqrt{H_1}/D$  больше единицы (3,16–7,12), что свидетельствует о положи-

Таблица 1

#### Урожайность зерна самоопыленных линий кукурузы и среднегрупповые значения гибридов, т/га

Линия	Р*				Г*			
	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
РН26	2,60	2,30	1,95	2,26	4,00	5,04	5,49	4,37
МК 130 У	2,17	2,59	1,81	1,74	3,44	4,76	5,88	4,44
МК 11	2,11	2,30	2,51	2,94	3,76	5,55	6,20	4,42
Ук12Д2	2,51	2,63	2,62	1,94	3,27	5,31	5,51	4,22
РСК 25	1,87	2,77	2,70	1,68	3,36	5,14	5,42	4,31
Ом 255	2,09	2,76	2,54	2,34	3,16	5,09	5,40	4,11
Х46	2,18	2,67	2,86	2,21	3,08	4,92	5,31	4,10
РСК 7	2,01	2,66	3,40	2,88	3,58	5,27	5,73	4,36
CL 7	1,35	1,69	1,34	2,07	3,07	4,53	5,03	4,16
КС 25	2,76	3,45	3,43	2,53	3,03	5,03	5,49	4,42
ЮВ19	2,24	3,65	3,20	2,26	3,01	5,00	5,61	4,16
РСК 3	2,40	3,79	3,03	2,53	3,23	5,57	5,79	4,38
Бг 1266	2,30	3,08	2,27	2,80	2,98	5,36	5,13	4,28
ЛВ32	2,73	2,73	2,86	2,35	3,22	5,18	5,25	4,22
Од 28	3,08	3,23	3,43	2,64	3,31	4,84	5,16	4,30
Ом 232	2,33	3,12	3,94	2,76	3,17	5,11	5,38	4,37
Среднее значение	2,30	2,84	2,743	2,307	3,29	5,11	5,49	4,29

\*Примечание: Р – среднее значение самоопыленной линии, Г – среднегрупповое значение гибридов



**Эффекты ОКС и дисперсия СКС по урожайности зерна самоопыленных линий кукурузы, 2016–2019 гг.**

Линия	2016 г.		2017 г.		2018 г.		2019 г.	
	ОКС	СКС	ОКС	СКС	ОКС	СКС	ОКС	СКС
РН26	0,62 k	0,53	-0,12 cde	0,55	-0,09 cd	0,72	0,07 ghi	0,39
МК 130 У	0,11 hi	0,54	-0,31 b	0,23	0,22 hij	0,52	0,06 fghi	0,54
МК 11	0,37 j	0,53	0,31 h	0,70	0,57 k	0,65	0,18 j	0,24
Ук12Д2	0,01 efgh	0,17	0,14 fgh	0,32	0,01 def	0,50	-0,10 ab	0,34
РСК 25	0,01 fgh	0,33	0,02 def	0,21	-0,06 cde	0,33	-0,05 bcd	0,56
Ом 255	-0,13 abcdef	0,14	-0,02 cdef	1,01	-0,09 cd	0,34	-0,15 ab	0,52
X46	-0,19 abc	0,16	-0,18 bc	0,44	-0,14 c	0,51	-0,17 a	0,19
РСК 7	0,21 i	0,30	0,12 fg	1,18	0,27 ij	0,31	0,01 cdefgh	0,32
CL-7	-0,29 a	0,47	-0,61 a	0,48	-0,54 a	0,53	-0,13 ab	0,21
КС 25	-0,17 abcd	0,17	0,01 cdef	0,30	0,08 fg	0,86	0,13 ij	0,45
ЮВ 19	-0,24 ab	0,33	0,00 cdef	0,35	0,15 ghi	0,70	-0,11 ab	0,27
РСК 3	-0,04 cdefgh	0,56	0,49 i	1,14	0,28 j	0,87	0,10 hij	0,54
Бг1266	-0,26 a	0,50	0,24 gh	1,60	-0,35 b	1,44	0,05 efghi	0,43
ЛВ32	-0,02 defgh	0,45	0,05 ef	0,30	-0,19 c	0,28	-0,05 bcd	0,44
Од 28	0,10 ghi	0,34	-0,18 bc	0,46	-0,19 c	0,30	0,04 defghi	0,24
Ом232	-0,09 bcdef	0,19	0,03 ef	0,37	0,05 efg	0,35	0,12 hij	0,53
F <sub>факт</sub>	46,2*	21,5*	36,8*	36,6*	79,3*	86,2*	22,0*	82,5*
HCP (ОКС линий)	0,14		0,17		0,12		0,09	

18

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

тельном влиянии сверхдоминирования. Значения отношения  $H_2/4H_1$  в 2016–2018 гг. незначительно меньше, а в 2019 г. равняется теоретическому значению (0,25), что показывает на относительно равномерное распределение аллелей с положительными и отрицательными эффектами. Анализ компонентов указывает на то, что в зависимости от условий выращивания, на проявление урожайности зерна влияют 2–7 генов или групп генов.

Такое изменение количества генов соответствует модели эколого-генетического контроля количественных признаков, когда при смене лимитирующего рост растений фактора внешней среды меняются спектр и число генов, детерминирующих один и тот же количественный признак [2].

В 2016–2017 гг. существенное влияние на урожайность зерна оказывал паратипический компо-

нент дисперсии (Е). Относительный вклад генов с аддитивным и доминантным действием в развитии признака характеризует значение генетического компонента Fr. Несущественные значения компонента fr отмечены в 2016 г. Положительные и существенные показатели компонента fr отмечены в 2016–2017 гг. у линий КС 25, ЮВ 19, Ом 232. Отрицательные существенные значения компонента fr выявлены у линии CL-7 в 2017–2018 гг.

**Заключение.** Использование диаллельного анализа позволяет определить компоненты генетической дисперсии и провести оценку самоопыленных линий кукурузы, включенных в рабочую коллекцию. В результате оценки самоопыленных линий кукурузы на комбинационную способность по урожайности зерна отмечены высокие эффекты ОКС и дисперсия СКС у следующих компонентов

Таблица 3

**Компоненты генетической дисперсии по урожайности зерна самоопыленных линий кукурузы**

Компонент	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
	оценка ± ошибка	оценка ± ошибка	оценка ± ошибка	оценка ± ошибка
D	0,04 ± 0,20	0,21 ± 0,11	0,75 ± 0,11*	0,19 ± 0,05*
F	-0,04 ± 0,45	0,16 ± 0,26	1,42 ± 0,27*	0,13 ± 0,11
H <sub>1</sub>	2,03 ± 0,42*	3,05 ± 0,23*	7,49 ± 0,27*	3,82 ± 0,11*
H <sub>2</sub>	1,76 ± 0,35*	2,71 ± 0,19*	6,37 ± 0,24*	3,78 ± 0,10*
h	4,82 ± 0,24*	16,70 ± 0,13*	22,44 ± 0,16*	12,79 ± 0,06*
E	0,19 ± 0,06*	0,15 ± 0,03*	0,08 ± 0,04	0,03 ± 0,02
m11 – m10	1,11	2,05	2,37	1,79
√H1/D	7,12	3,81	3,16	4,49
H2/4H1	0,22	0,22	0,21	0,25
√(4DH1) + F / √(4DH1) – F	0,87	1,22	1,07	1,16
h / H2	2,74	6,15	3,52	3,38
r	-0,60 (df = 8)	-0,85 (df = 10)	-0,92 (df = 5)	-0,90 (df = 6)

8  
2020

скрещиваний: РСК 7, Мк11, РСК 3. Бг1266, РН26. Данные линии возможно использовать при выделении перспективных гибридных комбинаций и получении синтетических популяций. Линии Х 46, CL 7, имеющие низкую ОКС, целесообразно использовать при выделении отдельных ценных комбинаций. Установлено существенное влияние компонентов доминирования ( $H_1, H_2$ ), а также то, что доминирование направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351с.
  2. Драгавцев В.А., Литун П.П., Шкель Н.М., Нечипоренко Н.Н. Модель эколого- генетического контроля количественных признаков растений // Доклады АН СССР. – 1984. – Т. 274. – № 3. – С. 720–723.
  3. Гончаренко А.А., Крахмалев С.В., Макаров А.В., Ермаков С.А. Генетический анализ количественных признаков у инбредных линий озимой ржи (*Secale cereale L.*) в диаллельных скрещиваниях // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 1. – С. 75–84.
  4. Жужукин В.И., Зайцев С.А., Волков Д.П., Гудова Л.А. Оценка комбинационной способности линий кукурузы в диаллельных скрещиваниях по высоте прикрепления початка // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 10 – С. 50–55.
  5. Зайцев С.А. Оценка в диаллельных скрещиваниях ОКС и СКС кремнистых и зубовидных линий кукурузы // Селекция гибридов кукурузы для современного семеноводства // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием Белгородского научно-исследовательского института сельского хозяйства 24–25 августа, 2016. – Саратов, 2016. – С. 345–349.
  6. Кибальник О.П. Комбинационная способность цмс линий зернового сорго по элементам урожайности // Кукуруза и сорго. – 2016. – № 3. – С. 10–13.
  7. Корецкая Л.С. Диаллельный анализ устойчивости сои к фузариозу // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 34. – № 1. – С. 356–371.
  8. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / Госагропром СССР. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. – М., 1989. – 194 с.
  9. Новичихин А.П., Лемешев Н.А., Гульняшкин А.В. Изучение комбинационной способности новых раннеспелых линий кукурузы // Рисоводство. – 2019. – № 1 (42). – С. 54–57.
  10. Обыдало Н.Д. Изучение гибридных комбинаций кондитерского подсолнечника, полученных на основе оценок окс, методом диаллельного анализа и топкросса // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. – 2016. – № 1 (165). – С. 22–28.
  11. Турбин Н.В., Хотылева Л.В., Тарутина Л.А. Диаллельный анализ в селекции растений. – Минск, 1974. – С. 3–6.
  12. Федин М.А., Силис Д.Я., Смиряев А.В. Статистические методы генетического анализа. – М.: Колос, 1980. – 208 с.
  13. Хотылева Л.В., Мишин Л.А., Тарутина Л.А. Анализ различных схем скрещиваний для оценки общей комбинационной способности исходного материала по раннеспелости и общему урожаю // Овощеводство. – 1996. – № 9. – С. 38.
  14. Griffing, B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems. // J. Biol. Sci., 1956, № 9, P. 463–493.
  15. Hayman B.I. The theory and analysis of diallel crosses // Genetics, 1954, Vol. 10, P. 235–244.
- Зайцев Сергей Александрович, канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Российской научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россортс». Россия.  
410050, г. Саратов, 1-й Институтский проезд, 4.  
Тел.: 8452794969; e-mail: zea\_mays@mail.ru.
- Ключевые слова:** кукуруза; линия; гибриды; урожайность; изменчивость; ОКС; СКС; диаллельный анализ.

#### APPLICATION OF DIALLE ANALYSIS IN THE STUDY OF THE COMBINATION ABILITY OF CORN

**Zaytsev Sergey Aleksandrovich**, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Russian Research Institute for Sorghum and Maize "Rossorgo". Russia.

**Keywords:** corn; line; hybrids; productivity; variability; GCA; SCA; diallelic analysis.

The article discusses the results of the use of diallelic analysis in the study of self-pollinated lines of corn. The average grain yield of self-pollinated lines (2,30 – 2,84 t/ha), as well as the average group indicators of hybrids (3,29 – 5,49 t/ha) were noted. The effects of general and variance of the specific combining ability of the lines were revealed. Ranking by grain yield allowed us to arrange the lines in the following sequence: CL 7 < MK 130 U < RSK 25 < PH26 < Yk12D2, Om 255 < MK 11 < Ch46 < Bg1266 < LV32 < RSK

7 < Yuv 19 < RSK 3 < Om232, KS 25 < Od 28. The results of the analysis of the combining ability of self-pollinated maize lines indicate a low value of the GCA effects in the lines of CL 7, Ch46 and a high effect of GCA in the lines of RSK 7, MK11, RSK 3. Significantly significant indicators of the components of dominance ( $H_1, H_2$ ), in absolute value exceed the values of component D, characterizing the additive effect of genes. The difference between the total average trait of all offspring (m1) and the average parental forms (m0) has positive values, which indicates that dominance is directed towards the parental forms with a greater severity of the trait. An analysis of the components indicates that, depending on the growing conditions, 2–7 genes or groups of genes affect the manifestation of grain yield. In 2016–2017 The paratypical component of dispersion had a significant effect on grain yield (E).

