

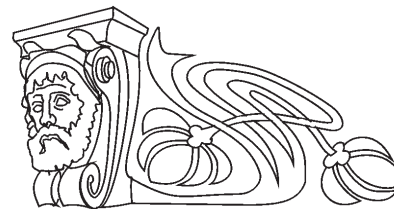


Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2022. Т. 22, вып. 2. С. 187–192
Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 187–192
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-2-187-192>

Научная статья
УДК 633.15

Комбинационная способность линий кукурузы и генетический контроль морфометрических параметров



О. В. Гуторова¹✉, С. А. Зайцев²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

²Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго», Россия, 410050, г. Саратов, ул. 1-й Институтский проезд, д. 4

Гуторова Ольга Валентиновна, старший преподаватель кафедры генетики, olga.gutorova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6975-8675>

Зайцев Сергей Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, zea_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

Аннотация. Приведены результаты изучения комбинационной способности новых дигаметоидных линий кукурузы, созданных путем диплоидизации гаплоидных растений, полученных при использовании линии-гаплоиндуктора. В эксперименте участвовали простые гибриды (30 комбинаций), полученные по полной диаллельной схеме 6 гомозиготных линий. Выявлены эффекты ОКС и дисперсии СКС линий, а также компоненты генетической дисперсии по основным морфометрическим параметрам растения (длина стебля, высота заложения початка, длина метелки, диаметр стебля, площадь листовой поверхности растения). Выделены линии с высокой оценкой ОКС и дисперсией СКС, которые целесообразно использовать в селекционном процессе на высокорослость, устойчивость к полеганию, технологичность. Отмечено влияние сверхдоминирования при проявлении длины метелки и диаметра стебля и преобладания аддитивных эффектов в формировании высоты заложения початка. Анализ компонентов позволил выявить количество генов или групп генов, оказавших влияние на проявление признаков в 2021 г. (длина стебля – 1–2, высота заложения початка – 2–3, длина метелки – 1–2, диаметр стебля – 2–3, площадь листовой поверхности – 1–2). Доминирование по изучаемым параметрам направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака. Отмечено существенное влияние условий возделывания на проявление длины стебля, высоты заложения початка, длины метелки, диаметра стебля.

Ключевые слова: кукуруза, линия, гибриды, урожайность, изменчивость, ОКС, СКС, диаллельный анализ

Для цитирования: Гуторова 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, вып. 2. С. 187–192. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-2-187-192>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Combination ability of corn lines and genetic control of morphometric parameters

O. V. Gutorova¹✉, S. A. Zaitsev²

¹Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

²Russian Research Institute for Sorghum and Maize "Rossorgo", 4 1st Institute Passage, Saratov 410050, Russia

Olga V. Gutorova, olga.gutorova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6975-8675>

Sergey A. Zaitsev, zea_mays@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6829-1970>

Abstract. The article presents the results of studying the combination ability of new dihaploid maize lines created by diploidization of haploid plants obtained using a haploinducer line. The experiment involved simple hybrids (30 combinations) obtained according to the complete diallel scheme of 6 homozygous lines. The effects of GCA and variance of SCA lines, as well as the components of genetic variance in terms of the main morphometric parameters of the plant (stem length, ear height, panicle length, stem diameter, plant leaf surface area) were revealed. Lines with a high GCA score and a dispersion of SCA have been identified, which are advisable to use in the breeding process for tall stature, resistance to lodging, and manufacturability. The influence of overdominance in the manifestation of the length of the panicle and the diameter of the stem and the predominance of additive effects in the formation of the height of the cob were noted. Analysis of the components made it possible to identify the number of genes or groups of genes that influenced the manifestation of traits in 2021 (stem length – 1–2, ear height – 2–3,



panicle length – 1–2, stem diameter – 2–3, area of leaf surface – 1–2). Dominance according to the studied parameters is directed towards parental forms with a greater severity of the trait. A significant influence of cultivation conditions on the manifestation of the length of the stem, the height of the cob, the length of the panicle, and the diameter of the stem was noted.

Keywords: corn, line, hybrids, productivity, variability, GCA, SCA, diallel analysis

For citation: Gutorova O. V., Zaitsev S. A. Combination ability of corn lines and genetic control of morphometric parameters. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2022, vol. 22, iss. 2, pp. 187–192 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2022-22-2-187-192>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Введение

Эффективность подбора родительских компонентов для рекомбинационной селекции и отбор высокопродуктивных генотипов определяет характер изменчивости признаков. Поскольку изменчивость и наследование зависят от генотипа и условий внешней среды, наибольшую ценность представляет информация о наследовании отдельных элементов хозяйственно-ценных признаков у гибридов и их родительских форм, полученная в конкретных условиях [1]. Неотъемлемым условием селекции на гетерозис является оценка исходного материала не только по хозяйственно ценным признакам самих линий, но и по их комбинационной ценности [2]. Анализ результатов комбинационной способности позволяет оптимизировать работу с селекционным материалом, подобрать лучшие компоненты для получения новых высокогетерозисных гибридов. Наиболее полную информацию о комбинационной способности селекционных форм получают в системе диаллельных скрещиваний [1, 3].

Длина стебля определяет направление использования гибрида, технологичность его возделывания. При создании гибрида силосного направления желателно использовать высокорослые формы, что будет способствовать повышению урожая за счет увеличения листостебельной массы. Модель гибрида зернового направления предполагает использовать относительно низкорослые растения, пригодные для прямой комбайновой уборки [4]. Высота заложения початка также является важным морфологическим признаком, определяющим технологичность уборки кукурузы. Пороговой высотой заложения початка при уборке кукурузы с минимальными потерями считается 50 см. Однако слишком высокое заложение початка также нежелательно, поскольку увеличиваются потери из-за конструктивных особенностей кукурузоуборочных комбайнов [5]. Параметры идиотипа зернового гибрида предполагают формирование низкорослых растений с относительно высоким заложением початка и малым размером метелки [6]. Кроме того, при получении гибридов, выращиваемых на фертильной основе с обрыванием метелок, приобретает значение длины метелки,

которая в определенной степени влияет на уровень среза, а значит и на качество завязываемых семян.

Целью исследований является установление на новом исходном материале (дигиплоидные линии кукурузы) проявления эффектов комбинационной способности, а также некоторых компонентов генетической дисперсии по морфометрическим параметрам.

Материалы и методы

Полевые опыты проводили в 2021 г. в пригороде г. Саратова на опытном поле ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в соответствии с методикой [7]. Климат региона характеризуется как резко континентальный. Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный средне-мощный 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/см³, наименьшая влагоемкость (НВ) слоя 0–30 см – 101,1 мм, слоя 0–100 см – 295,6 мм. В эксперимент включены простые гибриды (30 комбинаций), полученные по полной диаллельной схеме 6 гомозиготных линий по методу 1 В. Griffing [8, 9]. Повторность – трехкратная. Учетная площадь делянки 7,7 м². Густота стояния растений (55 тыс. растений/га). Агротехника в опыте – зональная, разработанная в ФГНУ РосНИИСК «Россорго». Для проведения учетов и обработки данных использовались соответствующие методики [10, 1]. Комбинационную способность образцов определяли по первому методу В. Griffing [9]. Генетический анализ компонентов генетической дисперсии проводили по В. I. Nauman [11].

Результаты и их обсуждение

Анализ данных позволил выявить значение морфометрических параметров новых дигиплоидных линий и среднегрупповые показатели гибридов (табл. 1). При этом выявлено варьирование признаков у линий в следующих пределах: длина стебля – 126,6–186,0 см; высота заложения початка – 34,0–84,0 см; длина метелки – 31,7–52,0 см; диаметр стебля – 1,37–1,90 см; площадь листовой поверхности растения – 2122,4–3383,4 см².



Таблица 1 / Table 1

Морфометрические параметры дигамлоидных линий кукурузы и среднегрупповые значения гибридов, 2021 г.
Morphometric parameters of dihaploid maize lines and average group values of hybrids, 2021

Линия / Line	Длина стебля, см / Stem length, sm		Высота заложения початка, см / Cob height, sm		Длина метелки, см / Panicle length, sm		Диаметр стебля, см / Stem diameter, sm		Площадь листовой поверхности растения, см ² / Plant leaf area, cm ²	
	P*	F*	P*	F*	P*	F*	P*	F*	P*	F*
ОГ 1 / OG 1	126,6	176,9	34,0	67,5	45,9	51,8	1,46	1,81	2595,9	3922,8
ОГ 2 / OG 2	165,6	204,0	74,0	88,2	48,4	53,4	1,76	2,10	3343,1	4161,0
ОГ 3 / OG 3	186,0	198,5	76,4	86,1	42,5	46,3	1,90	1,87	3383,4	3996,9
ОГ 4 / OG 4	158,0	202,6	84,0	88,3	31,7	48,5	1,64	1,87	2908,5	3900,2
ОГ 5 / OG 5	167,0	203,4	59,2	80,6	38,0	49,3	1,37	1,94	2122,4	4108,8
ОГ 6 / OG 6	178,2	191,1	62,8	71,4	52,0	56,1	1,66	1,96	2874,4	3832,5
Среднее значение / Average	163,6	196,1	65,1	80,3	43,1	50,9	1,63	1,92	2871,3	3970,4

Примечание. P – среднее значение линии, F – среднегрупповое значение гибридов.
 Note. P – is the average value of the line, F – is the average group value of hybrids.

Изменчивость среднегрупповых показателей гибридов колебалась в пределах: 176,9–204,0 см по длине стебля, 67,5–88,3 см по высоте заложения початка, 46,3–56,1 см по длине метелки, 1,81–2,10 см по диаметру стебля, 3832,5–4161,0 см² по площади листовой поверхности растения.

Общая комбинационная способность (ОКС) выражает среднюю ценность линии в гибридных

комбинациях с ее использованием и измеряется средним значением отклонения признака у всех ее гибридов F₁ от общего среднего по всем формам диаллельной схемы. Результаты анализа ОКС самоопыленных линий кукурузы, указывают на высокие эффекты ОКС по длине стебля у линий ОГ 2, ОГ 3, ОГ 4, ОГ 5 (табл. 2). При этом линия ОГ 5 характеризовалась низким

Таблица 2 / Table 2

Эффекты ОКС и дисперсия СКС по морфометрическим параметрам дигамлоидных линий кукурузы
Effects of GCA and dispersion of SCA by morphometric parameters of dihaploid maize lines

Линия / Line	Длина стебля / Stem length		Высота заложения початка / Cob height		Длина метелки / Panicle length		Диаметр стебля / Stem diameter		Площадь листовой поверхности растения / Plant leaf area	
	ОКС / GCA	СКС / SCA	ОКС / GCA	СКС / SCA	ОКС / GCA	СКС / SCA	ОКС / GCA	СКС / SCA	ОКС / GCA	СКС / SCA
ОГ 1 / OG 1	-16,3	156,4	-14,0	14,0	2,4	5,5	-0,10	0,008	-30,3	105298,7
ОГ 2 / OG 2	3,7	155,2	6,8	46,6	2,4	22,5	0,13	0,010	149,9	234389,7
ОГ 3 / OG 3	6,9	110,2	5,6	59,7	-3,2	12,7	0,04	0,007	145,9	134160,0
ОГ 4 / OG 4	4,1	244,0	9,5	24,1	-3,8	6,8	-0,05	0,005	-69,7	195936,8
ОГ 5 / OG 5	7,3	96,0	-0,6	13,3	-2,6	10,0	-0,04	0,011	-41,2	172405,1
ОГ 6 / OG 6	-5,7	103,3	-7,3	23,4	4,7	17,7	0,01	0,014	-154,6	70900,4
F	140,9*	89,8*	396,9*	55,2*	44,5*	13,0*	8,13*	5,16*	5,47*	20,81*
HCP _{0,05} / LSD _{0,05}	3,10		1,82		2,16		0,11		208,7	

Примечание. F – среднегрупповое значение гибридов.
 Note. F – is the average group value of hybrids.



значением дисперсии СКС, это указывает на то, что гибриды с участием данной линии имеют примерно одинаковое выражение признака. Высокий уровень эффекта ОКС у линий ОГ 2, ОГ 4 сочетается со значительным вкладом дисперсии СКС, из чего можно заключить, что высокая ОКС данных линий – результат существования отдельных комбинаций, значительно превосходящих среднее значение и гибридов с низким значением длины стебля.

Различия изучаемого материала по общей и специфической комбинационной способности оказались высокосignификанты по высоте заложения початка, длине метелки, диаметру стебля. Высокий эффект ОКС отмечен у линий ОГ 2, ОГ 3, ОГ 4 по высоте заложения початка, линий ОГ 1, ОГ 2, ОГ 6 по длине метелки, линии ОГ 2 по диаметру стебля. Низкие показатели эффекта ОКС и дисперсии СКС линий ОГ 1, ОГ 6 по высоте заложения початка указывают на то, что данные линии нежелательно использовать в селекции на повышение признака. Так как показатели толщины стебля могут указывать на устойчи-

вость растений к полеганию, особое внимание следует уделить линии ОГ 2, характеризующейся высоким эффектом ОКС и средним значением дисперсии СКС. Показатель $НСР_{0,05}$ по площади листьев на растении не позволяет группировать линии по эффектам ОКС на высокие и низкие.

Метод диаллельных скрещиваний также позволяет установить характер наследования количественных признаков, получить информацию о других генетических свойствах анализируемых форм (табл. 3). Глубина получаемых генетических выводов и сравнительно низкие требования к объему и структуре эксперимента позволяют методу Хеймана оставаться актуальным в селекционно-генетических исследованиях [12]. Дисперсионный анализ величин $Wr-Vr$ показал, что аддитивно-доминантная модель адекватна: по длине стебля – при исключении линий ОГ 1, ОГ 4, по высоте заложения початка – линии ОГ 2, площади листовой поверхности – линий ОГ 3, ОГ 5. Эпистатических эффектов генов не выявлено в детерминации длины метелки и диаметра стебля.

Таблица 3 / Table 3

Компоненты генетической дисперсии по морфометрическим параметрам дигамплоидных линий кукурузы, 2021
Components of genetic dispersion by morphometric parameters of dihaploid maize lines, 2021

Компонент / Component	Длина стебля / Stem length	Высота заложения початка / Cob height	Длина метелки / Panicle length	Диаметр стебля / Stem diameter	Площадь листовой поверхности растения / Plant leaf area
<i>D</i>	73,5	365,1*	49,8*	0,04*	70422,8
<i>F</i>	177,1	85,0	17,1	0,03	245072,3
<i>H</i> ₁	2008,4*	307,3*	110,1*	0,13*	1660168,3*
<i>H</i> ₂	1612,1*	253,6*	96,6*	0,11*	1440961,3*
<i>h</i>	1949,5*	561,7*	165,2*	0,22*	1642773,5*
<i>E</i>	19,3*	7,4*	9,1*	0,03*	75669,5
<i>m</i> ₁₁ – <i>m</i> ₁₀	22,2	11,9	6,5	0,24	651,8
$\sqrt{H_1/D}$	5,23	0,90	1,49	1,87	4,85
$H_2/4H_1$	0,20	0,21	0,22	0,22	0,22
h/H_2	1,21	2,22	1,71	2,09	1,14
<i>r</i>	–0,84	–0,90	–0,32	–0,79	–0,77

В опыте отмечается отрицательная корреляция между выраженностью признака и доминированием у родительских линий: –0,84 (длина стебля), –0,90 (высота заложения початка), –0,32 (длина метелки), –0,79 (диаметр стебля), –0,77 (площадь листовой поверхности). Существенно значимые показатели компонентов доминирования (*H*₁, *H*₂), по абсолютной величине превышают значения компонента *D*, характеризующего аддитивное действие генов по длине стебля, длине метелки, диаметру стебля, площади листовой поверхности рас-

тения. Доминирование по изучаемым параметрам направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака (*m*₁₁ – *m*₁₀ > 0). Отношение $\sqrt{H_1/D}$ по длине метелки, диаметру стебля больше 1, что свидетельствует о положительном влиянии сверхдоминирования в проявлении данных параметров. Существенное превышение значения компонента *D* над компонентами доминантного действия (*H*₁, *H*₂), указывает на преобладание эффектов аддитивного действия при формировании высоты заложения початка.



Существенное влияние в 2021 г. на проявление таких параметров, как длина стебля, высота заложения початка, длина метелки, диаметр стебля оказывал паратипический компонент дисперсии условий возделывания (E). Значения отношения $H_2/4H_1$ меньше теоретического значения (0,25), что указывает на неравномерное распределение аллелей с положительными и отрицательными эффектами. Анализ компонентов показывает, что в условиях выращивания в 2021 г. на проявление длины стебля влияют 1–2 гена или групп генов, высоты заложения початка – 2–3, длины метелки – 1–2, диаметра стебля – 2–3, площадь листовой поверхности – 1–2.

Выводы

Оценка комбинационной способности дигаметоидных линий по морфометрическим параметрам позволяет предположить, что линии ОГ 2, ОГ 3, ОГ 4 возможно использовать при получении гибридов, формирующих длинный стебель и высокое расстояние от почвы до початка. Особое внимание следует уделить линии ОГ 2, характеризующейся высоким эффектом ОКС и средним значением дисперсии СКС по диаметру стебля, что возможно использовать в селекции на устойчивость к полеганию. Существенно значимые показатели компонентов доминирования (H_1 , H_2) по абсолютной величине превышают значения компонента D , характеризующего аддитивное действие генов по длине стебля, длине метелки, диаметру стебля, площади листовой поверхности растения. Доминирование по изучаемым параметрам направлено в сторону родительских форм с большей выраженностью признака. Существенное влияние в 2021 г. на проявление таких параметров, как длина стебля, высота заложения початка, длина метелки, диаметр стебля оказывал паратипический компонент дисперсии условий возделывания (E).

Список литературы

1. Турбин Н. В., Хотылева Л. В., Тарутина Л. А. Диаллельный анализ в селекции растений. Минск : Наука и техника, 1974. 184 с.
2. Кибальник О. П. Комбинационная способность цмс линий зернового сорго по элементам урожайности // Кукуруза и сорго. 2016. № 3. С. 10–13.
3. Лобачев Ю. В. Генетический анализ : учеб. пособие. Саратов : ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ», 2011. 104 с.
4. Панфилов А. Э., Казакова Н. И. Продуктивность кукурузы в лесостепи Зауралья как функция скороспелости гибридов // АПК России. 2018. Т. 25, № 5. С. 586–591.
5. 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.
6. Видович И. В. Формирование урожая кукурузы // Формирование урожая основных сельскохозяйственных культур. М. : Колос, 1984. С. 175–196.
7. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
8. Федин М. А., Силис Д. Я., Смиряев А. В. Статистические методы генетического анализа. М. : Колос, 1980. 208 с.
9. Griffing B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems // J. Biol. Sci. 1956. № 9. P. 463–493.
10. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Госагропром СССР. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М. : Б.и., 1989. 194 с.
11. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses // Genetics. 1954. Vol. 10. P. 23–24.
12. Смиряев А. В., Кильчевский А. В. Генетика популяций и количественных признаков. М. : Колос, 2007. 272 с.

References

1. Turbin N. V., Khotyleva L. V., Tarutina L. A. *Diallel'nyi analiz v seleksii rastenii* [Diallel Analysis in Plant Breeding]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1974. 184 p. (in Russian).
2. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS lines of grain sorghum by yield elements. *Corn and Sorghum*, 2016, no. 3, pp. 10–13 (in Russian).
3. Lobachev Yu. V. *Geneticheskii analiz: ucheb. posobie* [Genetic analysis: Tutorial]. Saratov, "Saratov State Agrarian University" Publ., 2011. 104 p. (in Russian).
4. Panfilov A. E., Kazakova N. I. Productivity of corn in the forest-steppe of the Trans-Urals as a function of the early maturity of hybrids. *APK of Russia*, 2018, vol. 25, no. 5. pp. 586–591 (in Russian).
5. Zhuzhukin V. I., Zaitsev S. A., Volkov D. P., Gudova L. A. Evaluation of the combination ability of maize lines in diallel crosses according to the height of attachment of the cob. *Advances in Current Natural Science*, 2018, no. 10, pp. 50–55 (in Russian).
6. Vidovich I. V. Formation of the corn crop. In: *Formirovanie urozhaya osnovnykh sel'skokhoziaistvennykh kul'tur*



- [Formation of the harvest of the main agricultural crops]. Moscow, Kolos Publ., 1984, pp. 175–196 (in Russian).
7. Dospichov B. A. *Metodika polevogo opyta* [Methods of field experience]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 351 p. (in Russian).
 8. Fedin M. A., Silis D. Ya., Smiryaev A. V. *Statisticheskie metody geneticheskogo analiza* [Statistical methods of genetic analysis]. Moscow, Kolos Publ., 1980. 208 p. (in Russian).
 9. Griffing B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems. *J. Biol. Sci.*, 1956, no. 9, pp. 463–493.
 10. *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniia sel'sk Khoziaistvennykh kul'tur*. Gosagroprom SSSR. Gosudarstvennaia komissiiia po sortoispytaniuu sel'sk Khoziaistvennykh kul'tur Vyp. 2. Zernovye, krupiane, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tur [Methodology of state variety testing of agricultural crops. Gosagroprom USSR. State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops. Iss. 2. Cereals, cereals, legumes, corn and fodder crops]. Moscow, 1989. 194 p. (in Russian).
 11. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*, 1954, vol. 10, pp. 235–244.
 12. Smiryaev A. V., Kilchevsky A. V. *Genetika populiatsii i kolichestvennykh priznakov* [Genetics of Populations and Quantitative Traits]. Moscow, Kolos Publ., 2007. 272 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 29.01.2022; одобрена после рецензирования 08.03.2022; принята к публикации 09.03.2022
The article was submitted 29.01.2022; approved after reviewing 08.03.2022; accepted for publication 09.03.2022