

Генетический контроль высоты растений у линий кукурузы в диаллельных скрещиваниях

Валерий Иванович Жужукин¹, Людмила Александровна Гудова²,
Александр Федорович Сугробов¹, Марина Сергеевна Серебрякова¹

¹Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», г. Саратов, Россия

²ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», г. Саратов, Россия
e-mail: abelia77@mail.ru.

Аннотация. В статье представлены результаты изучения гибридов кукурузы, полученных в диаллельных скрещиваниях ($p(p+1)/2$) по признаку «высота растений». В опыт включено 11 самоопыленных линий (метод 2, модель 1) и 55 гибридов. В результате исследований была определена высота растений у родительских линий и гибридов F_1 (всего выполнено 3960 измерений), рассчитаны эффекты ОКС и дисперсия СКС, уровень гетерозиса, а также определены генетические компоненты, контролирующие проявления изучаемого признака. Наибольшая высота растений установлена у линий СПК 13, СПК 14, СПК 17, СПК 21. Относительно высокие среднегрупповые значения высоты растений гибридов выявлены у линий СПК 14, СПК 18, СПК 17, СПК 16. Высокий эффект ОКС и высокая дисперсия СКС определены у линии СПК 14. Высокие эффекты СКС выявлены в комбинациях с линиями СПК 14, СПК 12, СПК 16. Истинный гетерозис более 20 % определен у 45 гибридов в 2017 г. и у 9 гибридов в 2018 г. Адекватность аддитивно-доминантной модели в 2017 г. получена в результате исключения из расчетов линий СПК 13, СПК 14, СПК 15, СПК 17. В 2018 г. не аллельное действие генов не определено. В опыте установлено, что контроль высоты растений в модельной популяции осуществляли не менее 5 генов или групп генов в 2017 г. и 9 генов – в 2018 г.

Ключевые слова: гибриды кукурузы; диаллельные скрещивания; высота растений; гетерозис; генетический контроль; родительские линии.

Для цитирования: Жужукин В. И., Гудова Л. А., Сугробов А. Ф., Серебрякова М. С. Генетический контроль высоты растений у линий кукурузы в диаллельных скрещиваниях // Аграрный научный журнал. 2023. № 12. С. 28–33. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp28-33>.

AGRONOMY

Original article

Genetic control of plant height in corn lines in diallel crosses

Valery I. Zhuzhukin¹, Lyudmila A. Gudova², Alexander F. Sugrobov¹, Marina S. Serebryakova¹

¹ Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, Russia

²Federal Agricultural Research Center of the South-East Region, Saratov, Russia
e-mail: abelia77@mail.ru.

Abstract. The article presents the results of a study of corn hybrids cultivated in diallelic crosses ($p(p+1)/2$) according to the trait “plant height”. The experiment included 11 self-pollinated lines (method 2, model 1) and 55 hybrids. As a result of the research, the height of plants in parental lines and F_1 hybrids was determined (a total of 3960 measurements were made), the effects of TCA and SCA dispersion, the level of heterosis were calculated, and the genetic components that control the manifestations of the studied trait were determined. The highest plant heights were in the lines SPK 13, SPK 14, SPK 17, SPK 21. Relatively high group average values of plant heights of hybrids were found with the lines SPK 14, SPK 18, SPK 17, SPK 16. A high effect of TCA and a high dispersion of SCA were determined in the line SPK 14. High effects of SCA were detected in combinations with the lines SPK 14, SPK 12, SPK 16. True heterosis of more than 20% was determined in 45 hybrids in 2017 and in 9 hybrids in 2018. Adequacy of the additive-dominant model in 2017. obtained by excluding the lines SPK 13, SPK 14, SPK 15, SPK 17 from the calculations. In 2018, the non-allelic effect of genes was not determined. The experiment established that control of plant height in the model population was carried out by at least 5 genes or groups of genes in 2017 and 9 genes in 2018.

Keywords: corn hybrids; diallelic crosses; plant height; heterosis; genetic control; parental lines.

For citation: Zhuzhukin V.I., Gudova L.A., Sugrobov A.F., Serebryakova M.S. Genetic control of plant height in corn lines in diallel crosses. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(12):28–33. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2023i12pp28-33>.





Введение. Описание развития признака «высота растений» с точки зрения генетического контроля встречается в работах многих авторов. Однако полученные данные из-за их неоднозначности и противоречивости очень сложны в обобщении [13]. Так, по мнению S. Pal, A. Khehra, B. Dhillon [18], преимущественная роль в генетическом контроле высоты растений у кукурузы отводится доминантным генам, хотя влияние генов, проявляющих аддитивное действие, часто также существенно. По степени доминирования выделяют не полное, полное, но чаще всего сверхдоминирование. Существует утверждение, что гены, проявляющие аддитивное действие, оказывают более заметное влияние на выраженность признака «высота растений», чем доминантные или эпистатическое действие генов [17]. Часто влияние эпистаза в контроле высоты растений в исследованиях носит второстепенный характер. Обратная ситуация наблюдалась в работах G. Gorsline и др., где влияние эпистаза было существенным [14].

Высота растений – селекционный признак, который имеет непосредственное значение при современной технологии возделывания кукурузы, а также учитывается при подборе пар на участках гибридизации. Очень часто значение признака «высота растений» создаваемых гибридов зависит от правильного выбора родительских линий [12]. Чаще всего ценным исходным материалом для создания новых гибридов с улучшенными признаками являются самоопыленные линии с высокими значениями эффектов ОКС и дисперсией СКС [2, 9]. Оценка комбинационной способности исходного материала – наиболее распространенный метод генетического анализа исходного материала [7, 8]. Надежность данного метода оценки селекционной значимости генотипов отмечается во многих работах [10]. Эффекты ОКС и константы СКС позволяют получить сравнительную характеристику изучаемых линий, а также дифференцированно анализировать элементы структуры урожайности каждого конкретного гибрида на части, которые определяются доминантными или аддитивными генами каждого из родителей и неаллельным взаимодействием генов [11]. От использования в селекции зависит уровень гетерозиса гибридов и качественные его показатели. Чем больше и разнокачественнее линии, тем выше вероятность получения нового гибрида с улучшенными хозяйственными признаками [4].

Цель исследований – определение общей и специфической комбинационной способности самоопыленных линий кукурузы, а также оценка некоторых генетических параметров по признаку «высота растений».

Методика исследований. Полевые исследования проводили в 2017–2018 гг. Опытные делянки были заложены в ООО ВПО «Покровское» Энгельсского района Саратовской области. Объекты исследований: 11 самоопыленных линий и 55 гибридов, полученных по диаллельной схеме (метод 2 модель 1) [15]. Делянки двухрядковые, площадью 7,7 м². Повторность – трехкратная. Густота стояния растений – 4,5 растений/м². Самоопыленные линии и гибриды F₁ высевали отдельными блоками. Размещение внутри блока рендомизированное. Агротехника в опыте – зональная. Посев делянок проводили во второй декаде мая. Для проведения учетов и обработки данных использовали соответствующие методики [1, 5]. Выборка растений для учета и измерений – 30 растений. Комбинационную способность образцов определяли по второму методу В. Griffing [15]. Генетический анализ компонентов генетической дисперсии проводили по В. I. Hayman [16].

Истинный гетерозис определяли по методике Д.С. Омарова [6].

$$\Gamma_{\text{ист}} = (F_1 - P_{\text{лучш.}}) / P_{\text{лучш.}} \times 100,$$

где $\Gamma_{\text{ист}}$ – коэффициент истинного гетерозиса; F_1 – среднее значение признака гибрида первого поколения; $P_{\text{лучш.}}$ – среднее значение признака лучшей родительской формы.

При определении гипотетического гетерозиса в расчет включали среднее значение по обоим родителям.

Почва опытного участка – темно-каштановая суглинистая по гранулометрическому составу. Содержание гумуса – 3,4 %. Гидротермический коэффициент в годы исследований (май – 1-я декада сентября): 2017 г. – 0,99; 2018 г. – 0,50.

Результаты исследований. Высота заложения початков, число листьев на растении, ломкость и полегание стебля кукурузы тесно связаны с высотой растений [3, 12]. У самоопыленных линий кукурузы высота растений зависит от многих факторов, в том числе от погодных условий, загущенности посевов, культуры земледелия в целом и др. [9].

В 2017 г. изучаемые линии кукурузы характеризовались варьированием высоты растений от 124,0 до 165,6 см. Линии СПК 13, СПК 14, СПК 17, СПК 18, СПК 21 достоверно превосходили по данному признаку остальные (НСР₀₅ = 10,0). Их высота растений была 157,4 см и выше (рис. 1). В условиях 2018 г. родительские линии кукурузы были ниже, чем в 2017 г., на 6,3–28,3 см, за исключением линии СПК 20. Интервал варьирования высоты растений находился в диапазоне от 106,1 до 143,6 см. Линии с высотой растений выше 135,3 см (СПК 13, СПК 14, СПК 17, СПК 20, СПК 21) достоверно отличались высокорослостью (НСР₀₅ = 14,4).

Изучаемые гибриды характеризовались значительной вариабельностью признака «высота растений» в зависимости от условий произрастания. В 2017 г. изменчивость высоты растений экспериментальных гибридов кукурузы наблюдалась в диапазоне 171,8–219,6 см (табл. 1). Средняя величина признака составила 194,3 см. Высокорослостью (высота растений > 200,0 см) отличались следующие гибриды: СПК 12/СПК 13, СПК 12/СПК 18, СПК 13/СПК 14, СПК 13/СПК 17, СПК 13/СПК 18, СПК 16/СПК 17, СПК 16/СПК 18, СПК 16/СПК 20, СПК 17/СПК 18, СПК 17/СПК 19, а также практически все комбинации с линией СПК 14 (исключение – СПК 15 и СПК 21).

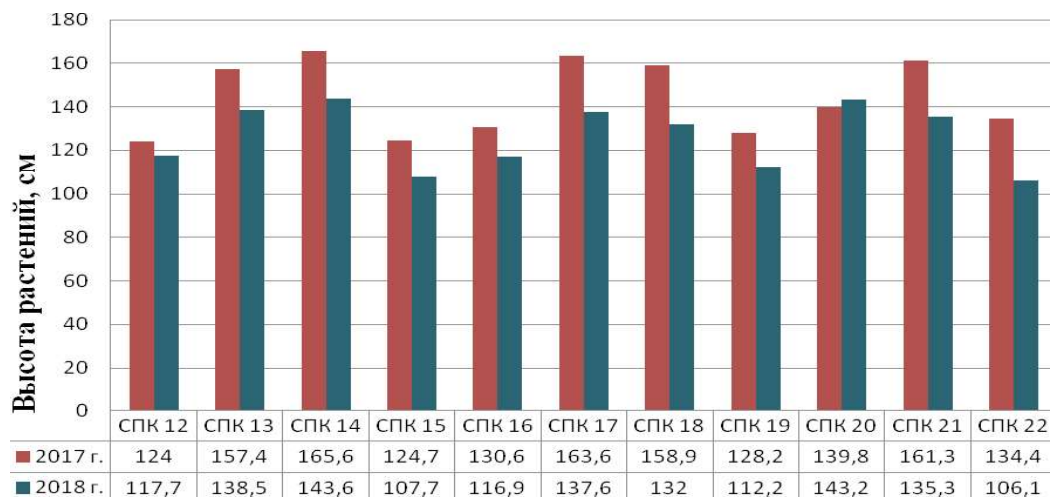


Рис. 1. Высота самоопыленных линий кукурузы (2017–2018 гг.)

Наибольшее среднегрупповое значение высоты растений (211,4 см) выявлено в комбинациях с линией СПК 14, а наименьшее (119,2 см) с линией СПК 15.

Таблица 1

Высота растений гибридов кукурузы, см (2017–2018 гг.)

	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1*	–	147,1	137,2	128,4	140,2	151,6	153,4	142,3	151,5	154,8	142,5
2	187,1	–	168,2	144,9	154,7	161,9	158,0	148,1	156,8	146,2	166,4
3	209,2	220,3	–	156,1	167,7	163,0	154,8	159,9	164,6	159,3	158,9
4	175,5	183,1	199,6	–	138,3	147,8	150,2	122,7	131,1	133,9	143,0
5	186,8	195,1	215,9	183,3	–	161,4	155,0	156,4	153,0	145,5	144,2
6	193,9	203,4	219,6	177,2	207,1	–	155,5	151,2	148,4	157,1	149,9
7	201,8	211,8	215,1	187,2	208,6	204,5	–	148,9	155,4	161,7	150,3
8	185,6	186,9	207,2	168,2	196,1	200,9	199,8	–	146,8	139,4	130,0
9	194,5	195,3	216,0	171,8	201,4	195,4	199,4	179,7	–	161,5	154,2
10	185,5	185,0	199,0	167,4	195,1	199,1	199,3	176,6	195,6	–	146,0
11	188,3	192,8	211,8	179,1	188,9	194,3	198,2	172,6	192,1	184,1	–

Примечание: треугольник справа – 2018 г., слева – 2017 г.; 1* – линия СПК 12; 2 – СПК 13; 3 – СПК 14; 4 – СПК 15; 5 – СПК 16; 6 – СПК 17; 7 – СПК 18; 8 – СПК 19; 9 – СПК 20; 10 – СПК 21; 11 – СПК 22.

В 2018 г. высота растений у гибридов была значительно ниже относительно 2017 г., интервал варьирования составил 128,4–168,2 см, при средней высоте растений 150,8 см (рис. 2). Высотой растений более 160,0 см характеризовались гибридные комбинации СПК 13/СПК 14, СПК 13/СПК 17, СПК 13/СПК 22, СПК 14/СПК 16, СПК 17/СПК 20, СПК 16/СПК 17, СПК 18/СПК 21, СПК 21/СПК 22. Наибольшее и наименьшее среднегрупповое значение высоты растений, как и в 2017 г., определено с линиями СПК 14 (159,0 см) и СПК 15 (139,6 см).

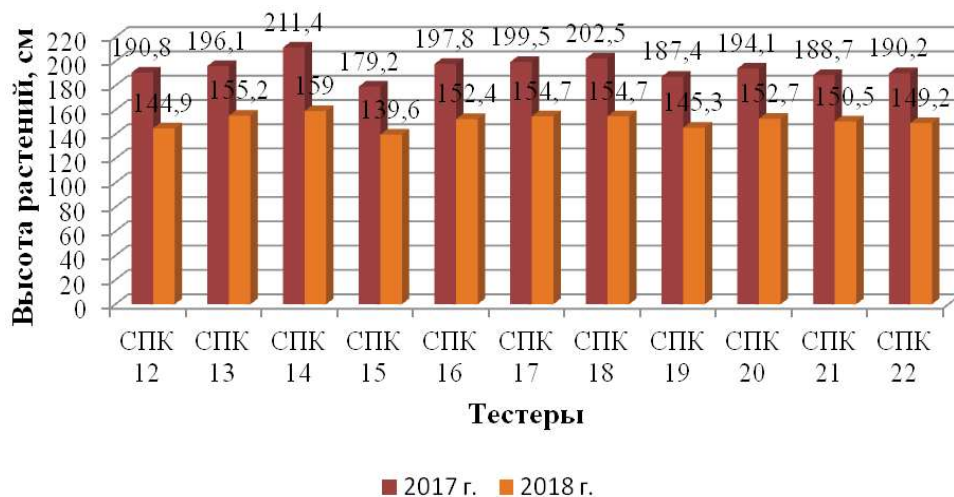


Рис. 2. Среднегрупповые значения высоты растений гибридов кукурузы (2017–2018 гг.)



Гибридные комбинации СПК 13/СПК 14, СПК 13/СПК 17, СПК 14/СПК 16, СПК 14/СПК 1, СПК 14/СПК 20, СПК 16/СПК 17 в оба года изучения характеризовались максимальными значениями признака «высота растений».

В зависимости от биотических и абиотических факторов самоопыленным линиям присуща определенная вариабельность оценок эффектов комбинационной способности [3, 4, 9]. В 2017 г. высокая ОКС при $HCP_{05} = 4,1$ выявлена у линии СПК 14 (16,60). Эта линия имеет несомненный интерес в гетерозисной селекции. Средние величины эффектов ОКС выявлены у линий СПК 17 и СПК 18 (табл. 2). Целесообразность включения этих линий в селекционный процесс будет зависеть от дисперсии СКС. В 2018 г. достоверно высокий эффект ОКС (3,82–9,01) был отмечен у линий СПК 13, СПК 14, СПК 17, СПК 18, СПК 20 ($HCP_{05} = 6,47$).

Таблица 2

Высота растений, эффекты ОКС и дисперсия СКС самоопыленных линий кукурузы

Линия кукурузы	Эффекты ОКС		Дисперсия СКС	
	2017 г.	2018 г.	2017 г.	2018 г.
СПК 12	–5,61	–5,76	115,1	55,7
СПК 13	3,62	3,82	66,6	23,6
СПК 14	16,60	9,01	132,0	78,4
СПК 15	–14,38	–11,40	64,2	61,2
СПК 16	0,81	–0,32	144,4	63,2
СПК 17	7,23	4,99	77,2	37,6
СПК 18	8,84	5,54	94,4	43,4
СПК 19	–7,63	–6,33	108,5	56,1
СПК 20	–0,58	4,16	110,7	40,3
СПК 21	–4,55	1,38	76,0	40,7
СПК 22	–4,38	–5,09	87,8	53,3
HCP_{05}	4,10	6,47		

Относительную важность генов, контролирующих развитие признака «высота растений», определяет дисперсия СКС, которая позволяет более детально планировать возможность дальнейшего включения данных линий в создание новых гибридов [7]. Изучаемые линии кукурузы характеризуются большими и относительно стабильными значениями дисперсии СКС по годам исследований. Принимая во внимание высокую и среднюю ОКС линий СПК 14, СПК 17, СПК 18 за годы исследований, следует рассматривать их как наиболее перспективный исходный материал.

Для определения комбинаций с наибольшим значением признака вычислены эффекты (константы) СКС. Это позволило выделить линии со специфическим взаимодействием. Гибриды, характеризующиеся высокими константами СКС, обладают в определенных скрещиваниях специфической комбинационной способностью [11]. К таким гибридам в 2017 г. были отнесены 53 гибрида, а в 2018 г. – 42 гибрида (табл. 3). Коэффициенты корреляции между высотой растений гибридов F_1 и эффектами СКС составили в 2017 г. 0,55 и в 2018 г. 0,28. Высокие эффекты СКС по высоте растений выявлены в следующих гибридных комбинациях: в 2017 г. – СПК 12/СПК 14, СПК 12/СПК 18, СПК 12/СПК 19, СПК 12/СПК 20, СПК 12/СПК 22, СПК 13/СПК 14, СПК 13/СПК 18, СПК 14/СПК 15, СПК 14/СПК 17, СПК 14/СПК 19, СПК 14/СПК 20, СПК 14/СПК 22, СПК 15/СПК 16, СПК 16/СПК 17, СПК 16/СПК 18, СПК 16/СПК 19, СПК 16/СПК 20, СПК 16/СПК 21, СПК 17/СПК 19, СПК 17/СПК 21, СПК 20/СПК 21, СПК 20/СПК 22; в 2018 г. – СПК 14/СПК 15, СПК 14/СПК 16, СПК 14/СПК 19, СПК 22/СПК 15, СПК 17/СПК 16, СПК 19/СПК 16.

Таблица 3

Эффекты СКС гибридов кукурузы по высоте растений (2017–2018 гг.)

	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1*	–	2,7	–12,7	–1,1	–0,3	5,7	6,9	8,3	6,4	12,4	6,7
2	3,3	–	8,7	5,8	4,5	6,4	2,0	3,9	2,2	–5,2	1,0
3	12,4	14,3	–	11,8	12,3	2,3	–6,4	10,6	4,8	2,2	8,3
4	9,8	8,1	11,6	–	3,4	7,5	0,4	–6,2	–0,3	–2,8	11,8
5	5,8	4,1	12,7	11,7	–	10,1	4,6	16,4	6,7	–2,2	2,9
6	6,5	6,8	10,1	–1,4	13,3	–	–1,7	5,9	–7,4	6,0	3,3
7	12,4	13,6	3,9	7,5	13,2	2,6	–	3,1	–1,0	8,2	12,3
8	13,1	5,2	12,4	4,5	17,1	15,5	12,8	–	2,4	–2,3	1,8
9	15,0	6,5	14,4	1,0	15,4	3,5	5,4	2,2	–	9,3	8,5
10	10,0	0,7	1,2	0,6	13,7	10,6	9,3	2,6	15,0	–	3,0
11	12,6	7,8	13,8	12,1	6,7	5,7	8,0	–1,1	11,3	7,3	–

Примечание: треугольник справа – 2018 г., слева – 2017 г.; 1* – линия СПК 12; 2 – СПК 13; 3 – СПК 14; 4 – СПК 15; 5 – СПК 16; 6 – СПК 17; 7 – СПК 18; 8 – СПК 19; 9 – СПК 20; 10 – СПК 21; 11 – СПК 22.



В результате исследований установлено, что гибриды превосходили лучшие родительские формы по высоте растений. В 2017 г. 45 гибридов характеризовались истинным гетерозисом более 20 %. В 2018 г. степень превосходства гибридов над родительскими линиями была ниже. Истинный гетерозис выше 20 % был зафиксирован только в 9 комбинациях, а менее – у 42 гибридов (табл. 4).

Высокая степень проявления (>20 %) гипотетического гетерозиса в 2017 г. была определена у всех экспериментальных гибридов. В 2018 г. у 5 гибридов степень проявления гетерозиса не превышала 10 %, а у 24 гибридов была выше 20 %.

Таблица 4

Степень и частота гетерозиса, %, у гибридов кукурузы по высоте растений

Тип гетерозиса	Год	Степень проявления					
		> 20	10–20	0–10	–10–0	–20–10	< –20
Истинный	2017	45	9	1	–	–	–
	2018	9	22	20	4	–	–
Гипотетический	2017	55	–	–	–	–	–
	2018	24	25	5	–	1	–

Значение компонента D характеризует изменчивость, обусловленную аддитивным действием генов, значительно варьирует от условий года. В 2018 г. данный показатель значительно выше (на 42 %), чем в 2017 г. Положительными и существенными были значения компонента доминирования H_1 , H_2 , H по годам исследований. Доминирование направлено в сторону родительских линий с большим значением признака ($M_1 - M_0 > 0$). Отношение $H_2/4H_1$ свидетельствует о почти равномерном распределении аллелей с положительными и отрицательными эффектами по годам исследований. Значение F не существенно, это свидетельствует о равенстве доминантных и рецессивных генов. Исключение из расчета линий СПК 13, СПК 14, СПК 15, СПК 17 с эпистатическим взаимодействием генов в 2017 г. позволило рассматривать адекватной аддитивно-доминантную модель. Отношение $H_1/D^{0.5}$ подтверждает положительный эффект сверхдоминирования (табл. 5).

Таблица 5

Генетические и средовые компоненты вариации, полученные на основе диаллельного анализа линий кукурузы по высоте растений

Параметры	Значение компонента	Ошибка	Т-критерий	Значение компонента		
				Т-критерий		
				2017 г.		
D	97,81	47,47	2,06*	170,81		
F	–9,00	113,89	–0,08	58,46		
H_1	1846,06	114,29	16,15*	264,45		
H_2	1814,87	100,71	18,02*	215,47		
H	8890,38	67,64	131,44*	1781,83		
E	47,09	16,78	2,81*	106,73		
$fr_{СПК\ 12}$	–616,54	162,76	–3,79*	–175,06		
$fr_{СПК\ 13}$	эпистаз	–	–	200,95		
$fr_{СПК\ 14}$	эпистаз	–	–	279,95		
$fr_{СПК\ 15}$	эпистаз	–	–	–159,54		
$fr_{СПК\ 16}$	–475,34	162,76	–2,92*	–165,37		
$fr_{СПК\ 17}$	эпистаз	–	–	310,23		
$fr_{СПК\ 18}$	906,62	162,76	5,37*	439,77		
$fr_{СПК\ 19}$	–280,23	162,76	–1,72	–171,73		
$fr_{СПК\ 20}$	156,59	162,75	0,96	191,52		
$fr_{СПК\ 21}$	255,31	162,76	1,57	99,47		
$fr_{СПК\ 22}$	–9,42	162,76	–0,06	–207,09		
$M_1 - M_0$	47,21			21,33		
$(H_1/D)^{0.5}$	4,34			1,24		
$H_2/4H_1$	0,25			0,21		
H/H_2	4,90			8,27		
df	39			63		

Также существенное влияние на проявление признака «высота растений» оказал паратипический компонент. Установлено, что проявление признака «высота растений» в условиях 2017 г. зависело от 5 генов или группы генов, а в 2018 г. от 9 генов.

Закключение. По результатам исследований установлено, что наибольшей высотой растений отличались линии СПК 13, СПК 14, СПК 17, СПК 21. Относительно высокие среднегрупповые значения высоты растений гибридов выявлены с линиями СПК 14, СПК 18, СПК 17, СПК 16. Гибридные комбинации СПК



13/СПК 14, СПК 13/СПК 17, СПК 14/СПК 16, СПК 14/СПК 17, СПК 14/СПК 20, СПК16/СПК17 в оба года изучения характеризовались более выраженными значениями признака.

Высокие эффекты ОКС отмечены у линий СПК 14, СПК 15, СПК 18, а дисперсия СКС у линий СПК 14, СПК 16, СПК 12, СПК 19, СПК 20. Высокие эффекты СКС выявлены в комбинациях с линиями СПК 14, СПК 12, СПК 16.

Истинный гетерозис более 20 % определен у 45 гибридов в 2017 г., и у 9 гибридов в 2018 г.

Адекватность аддитивно-доминантной модели в 2017 г. получена в результате исключения из расчетов линий СПК 13, СПК 14, СПК 15, СПК 17. В 2018 г. не аллельное действие генов не выявлено. В опыте установлено, что контроль высоты растений в модельной популяции осуществляли не менее 5 генов или групп генов в 2017 г. и 9 генов – в 2018 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
2. Зайцев С. А. Применение диаллельного анализа при изучении комбинационной способности кукурузы // Аграрный научный журнал. 2020. №. 38. С. 16–19.
3. Кравченко Р. В., Пивоваров В. Ф. Адаптивность и стабильность гибридов кукурузы в условиях степной зоны Центрального Предкавказья // Современные тенденции в селекции и семеноводстве овощных культур. Традиции и перспективы: материалы 2-й Международ. науч.-практ. конф. Краснодар, 2010. С. 367–370.
4. Лемешев Н. А. Отбор исходного материала и создание на его основе раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы для условий Юго-России: дис. ... канд. с.-х. наук. Краснодар, 2020. 194 с.
5. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур / Госагропром СССР. Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 194 с.
6. Омаров Д. С. К методике учета и оценки гетерозиса у растений // Сельскохозяйственная биология. М.: Колос, 1975. С. 123–127.
7. Оценка комбинационной способности белозерных линий кукурузы для создания белозерных гибридов в условиях предгорного района Ставропольского края / Ю. В. Сотченко [и др.] // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2022. № 6(110). С. 217–224.
8. Пакудин В. З. Оценка комбинационной способности линий кукурузы в диаллельных анализирующих скрещиваниях // Бюллетень ВИР. 1974. Вып. 43. С. 73–76.
9. Паритов А. Ю., Килова Р. М., Бабугоева Л. Х. Оценка генетических параметров линий кукурузы по признаку «высота растений» // Novainfo 89. 2018. С. 19–22. <https://novainfo.ru/article/15641?ysclid=lg224pmbmm734832134>.
10. Савченко В. К. Генетический анализ и синтез в практической селекции. Минск: Наука и техника, 1986. С. 17–27.
11. Сотченко Ю. В., Галговская Л. А. Изучение исходного материала в селекции кукурузы // Кукуруза и сорго. 2008. №. 1. С. 9–11.
12. Чилашвили И. М. Оценка нового исходного материала для селекции ранних и среднеранних гибридов кукурузы // Научный журнал КубГАУ. 2012. № 79(05). <http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/01.pdf>.
13. Шмараев Г. Е. Генофонд и селекция кукурузы. СПб.: ВИР, 1999. 390 с.
14. Gorsline G. W. Phenotypic epistasis for ten quantitative characters in maize // Crop Sci. 1961. No. 1. P. 55–58.
15. Griffing B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems // J. Biol. Sci. 1956. No 9. P. 463–493.
16. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses // Genetics. 1954. Vol. 10. P. 23–24.
17. Moreno-Gonzalez J. Epistasis in related and unrelated maize hybrids determined by three methods // Crop Science. 1981. Vol. 21. P. 644–651.
18. Pal S. S., Khehra A. S., Dhillon B. S. Genetic analysis and selection advance in maize population // Maydica. 1986. Vol. 31. No. 2. P. 153–162.

REFERENCES

1. Dospheov B. A. Methodology of field experience. M.: Agropromizdat; 1985. 351 p. (In Russ.).
2. Zaytsev S. A. Application of diallelic analysis in the study of the combining ability of corn. *Agrarian scientific journal*. 2020;(38): 16–19. (In Russ.).
3. Kravchenko R.V., Pivovarov V.F. Adaptability and stability of corn hybrids in the conditions of the steppe zone of the Central Ciscaucasia. Modern trends in selection and seed production of vegetable crops. Traditions and prospects: materials of the 2nd International. scientific-practical conf. Krasnodar; 2010. P. 367–370. (In Russ.).
4. Lemeshev N. A. Selection of source material and creation on its basis of early and mid-early corn hybrids for the conditions of South Russia: dis. ...cand. agricultural Sci. Krasnodar; 2020. 194 p. (In Russ.).
5. Methodology for state variety testing of agricultural crops / State Agricultural Industry of the USSR. State Commission for Variety Testing of Agricultural Crops. Vol. 2. Cereals, cereals, legumes, corn and forage crops. M.; 1989. 194 p. (In Russ.).
6. Omarov D. S. Towards a methodology for accounting and assessing heterosis in plants. *Agricultural biology*. M.: Kolos; 1975. P. 123–127. (In Russ.).
7. Assessment of the combining ability of white-grain corn lines for creating white-grain hybrids in the conditions of the foothill region of the Stavropol Territory / Yu. V. Sotchenko et al. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2022;6(110):217–224. (In Russ.).
8. Pakudin V. Z. Assessment of the combining ability of corn lines in diallelic crosses. *VIR Bulletin*. 1974;43:73–76. (In Russ.).
9. Paritov A. Yu., Kilova R. M., Babugoeva L. Kh. Assessment of genetic parameters of corn lines based on the trait “plant height”. *Novainfo* 89. 2018. P. 19–22. <https://novainfo.ru/article/15641?ysclid=lg224pmbmm734832134>. (In Russ.).
10. Savchenko V. K. Genetic analysis and synthesis in practical selection. Minsk: Science and Technology; 1986. P. 17–27. (In Russ.).
11. Sotchenko Yu. V., Galgovskaya L. A. Study of source material in corn breeding. *Corn and sorghum*. 2008;(1):9–11. (In Russ.).
12. Chilashvili I. M. Evaluation of new source material for the selection of early and mid-early corn hybrids. *Scientific journal of KubSAU*. 2012;79(05). <http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/01.pdf>. (In Russ.).
13. Shmaraev G. E. Gene pool and corn selection. St. Petersburg: VIR; 1999. 390 p. (In Russ.).
14. Gorsline G. W. Phenotypic epistasis for ten quantitative characters in maize. *Crop Sci*. 1961;(1):55–58.
15. Griffing B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems. *J. Biol. Sci*. 1956;(9):463–493.
16. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*. 1954;10:23–24.
17. Moreno-Gonzalez J. Epistasis in related and unrelated maize hybrids determined by three. *Crop Science*. 1981;21:644–651.
18. Pal S. S., Khehra A. S., Dhillon B. S. Genetic analysis and selection advance in maize population. *Maydica*. 1986;31(2):153–162.

Статья поступила в редакцию 09.05.2023; одобрена после рецензирования 13.06.2023; принята к публикации 26.06.2023.
The article was 09.05.2023; approved after 13.06.2023; accepted for publication 26.06.2023.