

АГРОНОМИЯ

4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология

Научная статья

УДК 633.15:631.52+522+524.82

doi: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp29-38>

**Изменчивость и характер наследования массы 1000 зерен
у гибридов 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. Анализируются результаты изучения гибридов кукурузы F₁ по признаку «масса 1000 зерен», созданных по схеме диаллельного метода (метод 2 модель 1). Экспериментальная часть выполнялась в 2017–2018 гг. Опытные делянки располагались в ООО ВПО «Покровское» Энгельсского района Саратовской области. В качестве исходного материала для получения гибридов использовали 11 самоопыленных линий кукурузы. Установлено, что высокий эффект ОКС и дисперсия СКС по признаку «масса 1000 зерен» определены у линии СПК 20 в 2017 г. и линии СПК 18 в 2018 г. Высокая дисперсия СКС у гибридов кукурузы в 2017 г. выявлена у 25 гибридов из 55 и в 2018 г. у 12 гибридов. Ранги самоопыленных линий по величине эффектов ОКС расположены в последовательности СПК 16 > СПК 17 > СПК 13 > СПК 20 > СПК 18 > СПК 15 > СПК 21 > СПК 13 > СПК 22 > СПК 19, а дисперсии СКС – СПК 20 > СПК 18 > СПК 17 > СПК 16 > СПК 12 > СПК 15 > СПК 21 > СПК 13 > СПК 22 > СПК 19 > СПК 14. Установлена тесная корреляционная связь между эффектом СКС и истинным и гипотетическим гетерозисом (0,67 и 0,82 – в 2017 г.; 0,71 и 0,87 – в 2018 г.), а также между истинным и гипотетическим гетерозисами (0,85 – в 2017 г. и 0,86 – в 2018 г.). Также значимы коэффициенты корреляции между массой 1000 зерен и эффектом СКС (0,59 – в 2017 г. и 0,41 – в 2018 г.); между массой 1000 зерен и истинным гетерозисом (0,33 – 2017 г. и 0,35 – 2018 г.); между массой 1000 зерен и гипотетическим гетерозисом (0,42 – 2017 г. и 0,50 – 2018 г.). Адекватность аддитивно-доминантной модели рассматривается при исключении из расчета линий СПК 12 и СПК 16 в 2017 г. и линии СПК 16 в 2018 г. с эпистатическим взаимодействием генов. В условиях 2017 г. наследование признака «масса 1000 зерен» контролируется сверхдоминированием, а в 2018 г. проявляется полное доминирование.

Ключевые слова: кукуруза; масса 1000 зерен; диаллельный анализ; эффект ОКС; дисперсия СКС; гетерозис; генетические компоненты

Для цитирования: Жужукин В. И., Гудова Л. А., Сугробов А. Ф., Серебрякова М. С. Изменчивость и характер наследования массы 1000 зерен у гибридов кукурузы в диаллельных скрещиваниях // Аграрный научный журнал. 2024. № 3. С. 29–38. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp29-38>.

AGRONOMY

Original article

Variability and inheritance pattern of 1000 grains mass in corn hybrids in diallelic crosses

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

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

²Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

e-mail: abelia77@mail.ru.

Abstract. The results of studying F₁ corn hybrids based on the “weight of 1000 grains” trait, bred by the diallelic method (method 2 model 1), are analyzed. The experimental part was carried out in 2017–2018. The experimental plots were located in LLC VPO Pokrovskoye, Engels district, Saratov region. 11 self-pollinated lines of corn were used as the starting material for producing hybrids. It was established that a high effect of general combining ability and dispersion of specific combining ability according to the trait “weight of 1000 grains” were determined in the line SPK 20 in 2017 and line SPK 18 in 2018. High dispersion of specific combining ability in corn hybrids in 2017 was detected in 25 hybrids from 55 and in 2018 for 12 hybrids. The ranks of self-





pollinated lines according to the magnitude of the ACS effects are located in the sequence SPK 16>SPK 17>>SPK 13>SPK 20>SPK 18>SPK 15>SPK 21>SPK 13>SPK 22>SPK 19, and the SCS dispersions are SPK 20>>SPK 18> SPK 17>SPK 16>SPK 12>SPK 15>SPK 21>SPK 13>SPK 22>SPK 19>SPK 14. A close correlation has been established between the SCS effect and true and hypothetical heterosis (0.67 and 0.82 – in 2017; 0.71 and 0.87 in 2018), as well as between true and hypothetical heterosis (0.85 in 2017 and 0.86 in 2018). Also significant are the correlation coefficients between the mass of 1000 grains and the specific combining ability effect (0.59 in 2017 and 0.41 in 2018); between the weight of 1000 grains and true heterosis (0.33 – 2017 and 0.35 – 2018); between the weight of 1000 grains and hypothetical heterosis (0.42 – 2017 and 0.50 – 2018). The adequacy of the additive-dominant model is considered by excluding from the calculation the lines SPK 12 and SPK 16 in 2017 and the line SPK 16 in 2018 with epistatic interaction of genes. Under the conditions of 2017, the inheritance of the trait “weight of 1000 grains” is controlled by overdominance, and in 2018, complete dominance is manifested.

Keywords: corn; weight of 1000 grains; diallelic analysis; effect of general combining ability; dispersion of specific combining ability; heterosis; genetic components

For citation: Zhuzhukin V. I., Gudova L. A., Sugrobov A. F., Serebryakova M. S. Variability and inheritance pattern of 1000 grains mass in corn hybrids in diallelic crosses. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(3):29–38. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i3pp29-38>.

Введение. В селекционной работе с сельскохозяйственными культурами и кукурузой в том числе особое внимание направлено на признаки, которые доступны для учета и измерений и при этом связаны с зерновой продуктивностью. К таким признакам относится и масса 1000 зерен [1].

Масса 1000 зерен характеризует крупность и выполненность воздушно-сухих семян [16]. На ее величину оказывают влияние метеорологические факторы, генотипическая принадлежность самоопыленных линий или гибрида, их географическое происхождение, а также условия выращивания [6, 20, 21]. Так, при повышенной густоте стояния растений кукурузы масса 1000 зерен меньше, чем при изреженном посеве, образцы с крахмалистым и зубовидным типом зерна характеризуются наиболее крупными початками, а также высокой массой 1000 зерен (800–900 г) относительно линий с другим типом зерновки [19]. Обеспечение растений влагой и питательными веществами имеет существенное значение для формирования оптимального показателя признака [7, 12, 14]. При недостатке влаги в период налива зерно формируется, как правило, щуплым и легковесным, что приводит к снижению значения признака. Жаростойкие генотипы формируют более крупное и выполненное зерно [5].

По некоторым данным, признак «масса 1000 зерен» контролируется доминантными генами [18]. Степень доминирования варьирует от неполного доминирования [2] до сверхдоминирования [15]. Среднегрупповое значение признака «масса 1000 зерен» у гибридов чаще всего больше, чем значение этого признака у родительских линий [19]. Не выявлено существенной связи между массой 1000 зерен и линейными параметрами зерен, а также значительного проявления гетерозиса по данному признаку [8].

Наиболее полную генетическую информацию об изменчивости количественных признаков сортов полевых культур можно получить, используя систему диаллельных скрещиваний, которая позволяет в результате анализа относительно небольшого числа растений первого поколения получить достаточно полную информацию о системе генетического контроля изучаемого элемента у исходных родительских форм [17, 13, 14].

Независимо от того, какое влияние оказывает признак «масса 1000 зерен» на урожайность кукурузы, прямое или косвенное, это влияние необходимо учитывать при создании высокогетерозисных гибридов кукурузы [19].

Цель исследования – изучить изменчивость и характер наследования массы 1000 зерен гибридов кукурузы в диаллельных скрещиваниях.

Материалы и методы. Экспериментальная часть выполнялась в 2017–2018 гг. на полях ООО ВПО «Покровское» Энгельсского района Саратовской области. В изучении находилось 11 самоопыленных линий и 55 гибридов, полученных по диаллельной схеме (метод 2 модель 1) [22]. Делянки двухрядковые, площадью 7,7 м². Повторность – трехкратная. Густота стояния растений оптимальная для зоны возделывания (4,5 раст./м²). Самоопыленные линии кукурузы и гибриды F₁ размещали отдельными блоками, внутри блока – рендомизированно. Агротехника в опыте – зональная. Опытные делянки высевали во второй декаде мая. Учеты,

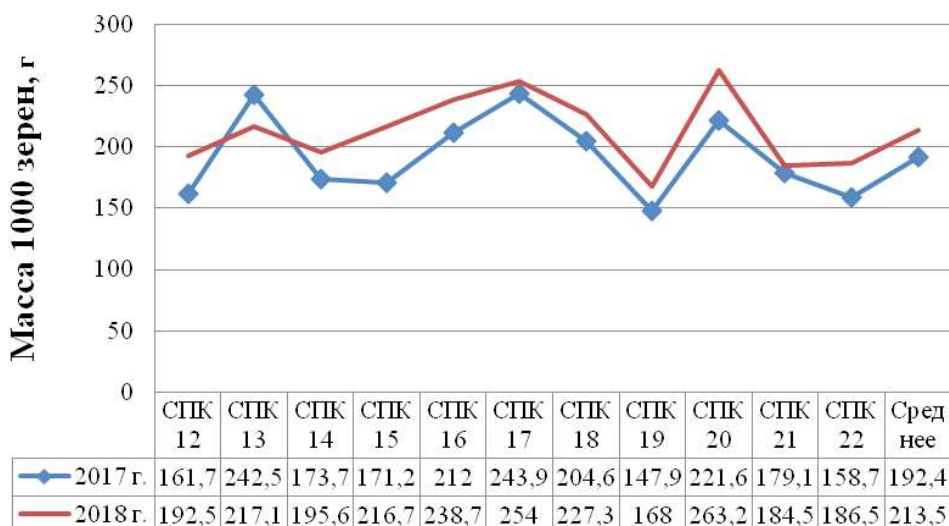


измерения, наблюдения, статистическую обработку данных проводили по общепринятым методическим рекомендациям [4, 10]. Выборка растений для учета и измерений – 30 растений каждой линии и гибрида. Ежегодно учитывали показатели у 1980 растений. Комбинационную способность образцов определяли с помощью второго метода В. Griffing [22], генетический анализ компонентов генетической дисперсии по В. I. Nauman [23].

Для расчета истинного гетерозиса использовали методику Д.С. Омарова [11], для гипотетического – в расчет вместо значения признака лучшей родительской формы включали среднее значение по обоим родителям.

Почвы опытного участка темно-каштановые, суглинистые по гранулометрическому составу. Содержание гумуса невысокое (3,4 %). В соответствии с гидротермическим коэффициентом период вегетации 2017 г. характеризовался как засушливый (ГТК 0,99), 2018 г. – очень засушливым (ГТК 0,50).

Результаты исследований. Масса 1000 зерен самоопыленных линий кукурузы в 2017 г. изменялась от 158,7 до 243,9 г. (рисунок 1). Относительно высокая масса 1000 зерен (более 200,0 г) выявлена у линий СПК 13, СПК 16, СПК 17, СПК 18, СПК 20. Достоверно высокое значение ($HCP_{05} = 31,6$) относительно среднего показателя установлено у линий СПК 13, СПК 17 (242,5 и 243,9 г соответственно). В 2018 г. изучаемый признак изменялся от 168,0 до 263,2 г. Масса 1000 зерен выше 200,0 г определена у линий СПК 13, СПК 15, СПК 16, СПК 17, СПК 18, СПК 20. Максимальное значение признака выявлено у линии СПК 20.



$$HCP_{05} = 31,6 \text{ (2017 г.); } 28,5 \text{ (2018 г.)}$$

Рисунок 1 – Масса 1000 зерен самоопыленных линий кукурузы, г (2017–2018 гг.)
Figure 1 – Weight of 1000 grains of self-pollinated corn lines, g (2017–2018)

У гибридов кукурузы в 2017 г. определено среднее варьирование признака, коэффициент вариации 11,8 %. Минимальное значение составило 180,3 г, а максимальное – 304,2 г (таблица 1). Значение признака выше 300,0 г выявлено у гибридов СПК 16×СПК 17, СПК 16×СПК 20. Масса 1000 зерен достоверно выше среднего значения (244,0 г) по питомнику установлена у 17 гибридов из 55 (таблица 2).

В 2018 г. масса 1000 зерен у гибридов кукурузы изменялась от 145,8 до 273,0 г. Коэффициент вариации составил 13,45, что свидетельствует о средней изменчивости признака. Максимальное значение массы 1000 зерен выявлено у гибрида СПК 13×СПК 21. Среднее значение признака составило 202,1 г. (см. таблицу 1) Существенное превышение относительно среднего значения характерно для 19 гибридов из 55 (таблица 2).

Средние групповые значения признака масса 1000 зерен у гибридов в 2017 г. выше значения этого признака у самих линий. Так, в 2017 г. анализируемый показатель варьировал от 211,3 до 269,7 г (рисунок 2). Включение в родословную гибридов кукурузы линий СПК 13 и СПК 16 способствовало получению более высокой массы 1000 зерен относительно среднего значения признака. В 2018 г. среднегрупповое значение массы 1000 зерен изменялось от 194,2 до 219,7 г,

Таблица 1 – Общая характеристика изменчивости гибридов F_1 по признаку «масса 1000 зерен»Table 1 – General characteristics of the variability of F_1 hybrids based on the trait “weight of 1000 grains”

Параметр	2017 г.	2018 г.
Среднее значение $\bar{X}$	244,0	202,1
Ошибка средней $S_{\bar{X}}$	3,87	3,64
Дисперсия S^2	825,2	730,5
Стандартное отклонение S	28,7	27,0
Коэффициент вариации V	11,8	13,4
Коэффициент асимметрии A	0,001ns	0,184ns
Ошибка коэффициента асимметрии S_A	0,32	0,32
Коэффициент эксцесса E	0,257ns	0,163ns
Ошибка коэффициента эксцесса S_E	0,63	0,63
Min	180,3	145,8
Max	304,3	273,0
n	55	55

Таблица 2 – Масса 1000 зерен гибридов кукурузы, г (2017–2018 гг.)

Table 2 – Weight of 1000 grains of corn hybrids, g (2017–2018)

Год		2017 г.										
2018 г.	Линия	СПК 12	СПК 13	СПК 14	СПК 15	СПК 16	СПК 17	СПК 18	СПК 19	СПК 20	СПК 21	СПК 20
	СПК 12	–	258,3	217,1	254,6	265,4	278,4	266,4	218,0	278,0	246,4	235,6
	СПК 13	205,6	–	239,6	272,9	290,9	275,2	297,0	240,4	255,9	248,7	240,4
	СПК 14	189,2	207,8	–	210,6	246,4	244,8	239,4	222,1	255,9	222,7	220,9
	СПК 15	214,8	247,8	221,9	–	249,3	224,7	255,7	188,5	250,0	223,1	223,4
	СПК 16	155,2	211,8	193,2	189,0	–	301,2	289,1	235,0	304,2	262,1	253,6
	СПК 17	214,2	210,2	256,7	234,7	244,9	–	251,1	223,3	280,8	261,4	220,4
	СПК 18	190,1	222,7	182,8	194,0	183,8	204,5	–	216,7	255,4	232,9	246,2
	СПК 19	201,9	183,8	175,5	217,2	198,0	167,3	209,5	–	200,4	188,4	180,3
	СПК 20	197,7	227,9	145,8	187,9	179,1	181,4	248,2	211,6	–	210,7	250,3
	СПК 21	193,3	273,0	225,3	200,6	212,0	206,9	239,1	218,1	171,3	–	201,4
	СПК 22	194,3	207,8	231,4	201,5	175,4	156,3	153,3	199,0	198,5	153,9	–

Примечание: * $HCP_{05} = 11,8$ – 2017 г., $HCP_{05} = 10,2$ – 2018 г.

что ниже в сравнении с 2017 г. Достоверное превышение определено в гибридных комбинациях с включением линий СПК 13 и СПК 16.

По результатам расчета ОКС и дисперсии СКС, проведенного по алгоритму диаллельного анализа, в 2017 г. выявлены линии с высоким эффектом ОКС: СПК 13, СПК 16 (при 95%-м уровне вероятности – 9,44), средние значения демонстрируют линии СПК 17, СПК 20. Высокая дисперсия СКС определена у линии СПК 20. В 2018 г. линии СПК 16, СПК 17 характеризуются высоким эффектом ОКС ($HCP_{05} = 8,83$), средние величины определены у линий СПК 13, СПК 18, СПК 20. Относительно высокая дисперсия СКС проявляется у линии СПК 18 (рисунок 3, 4).

Таким образом, в 2017 г. выделена линия кукурузы СПК 20, а в 2018 г. – линия СПК 18 с высокими значениями эффектов ОКС и дисперсии СКС. Степень проявления эффектов ОКС и дисперсии СКС неодинакова в годы исследований.



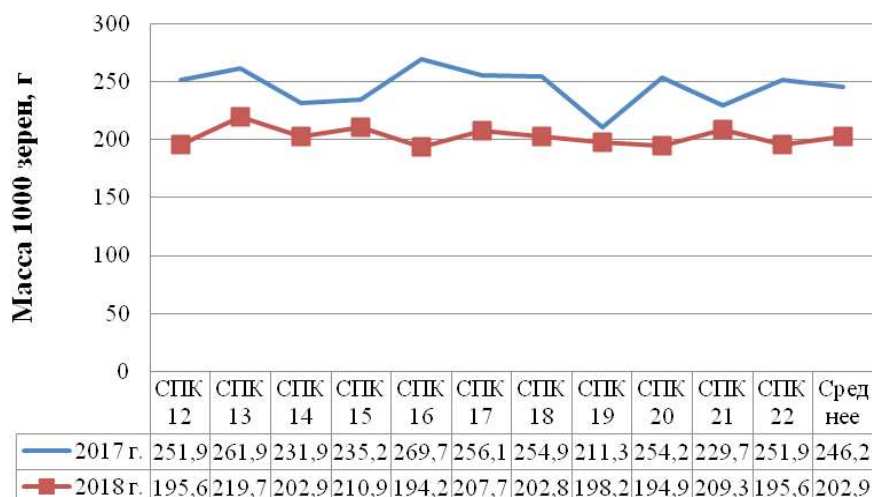


Рисунок 2 – Среднегрупповые значения массы 1000 зерен гибридов кукурузы, г (2017–2018 гг.)
Figure 2 – Group average values of weight of 1000 grains of corn hybrids, g (2017–2018)

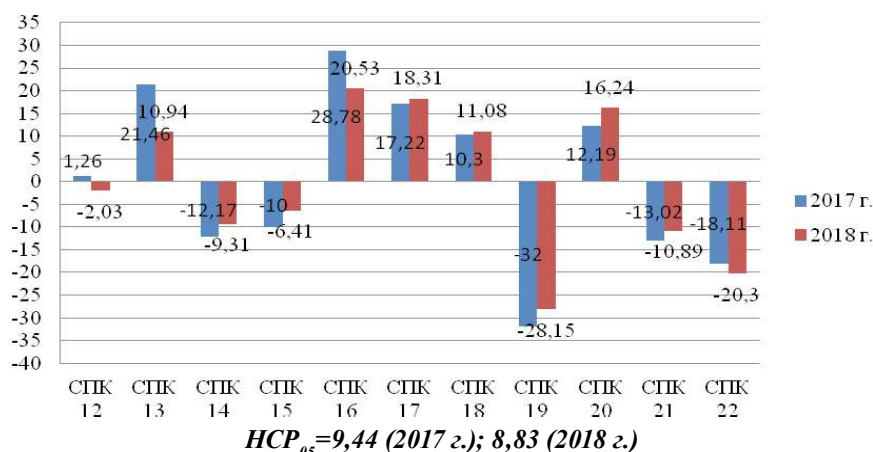


Рисунок 3 – Эффекты ОКС самоопыленных линий кукурузы по признаку «масса 1000 зерен»
Figure 3 – General combining ability effects of self-pollinated corn lines based on the trait “weight of 1000 grains”

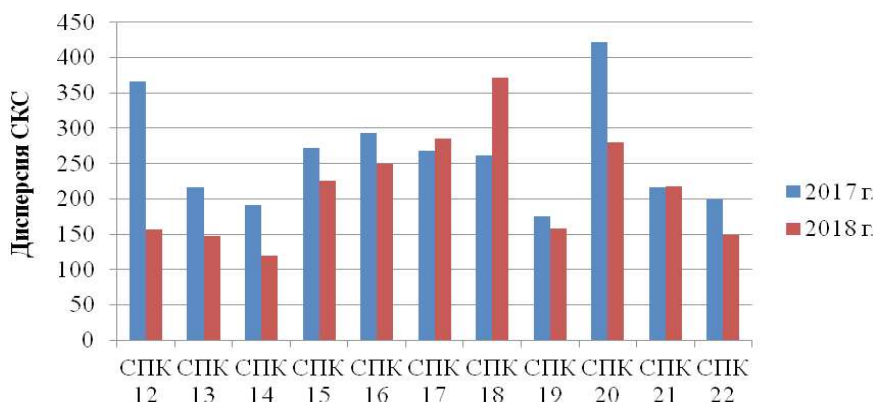


Рисунок 4 – Дисперсия СКС самоопыленных линий кукурузы по признаку «масса 1000 зерен»
Figure 4 – Specific combining ability dispersion of self-pollinated corn lines based on the trait “weight of 1000 grains”

Для выявления перспективных комбинаций скрещиваний вычислены эффекты (константы) СКС по массе 1000 зерен и выделены гибриды, в которых линии проявляют взаимодействие. Если взаимодействие линий в составе какого-либо гибрида играет немаловажную роль, тогда эффекты СКС характеризуются высокими значениями [9].

Высокий положительный эффект СКС у гибридов кукурузы в 2017 г. выявлен в 25 случаях из 55. Следует отметить, что в комбинациях с линией СПК 16 не установлено отрицательных значений эффектов СКС. В 2018 г. у 12 гибридов установлено высокое значение эффектов СКС, большая часть гибридов кукурузы характеризуется низким положительным или отрицательными значением (таблица 3). Ранги самоопыленных линий по величине эффектов ОКС расположены в последовательности СПК16 > СПК 17 > СПК 13 > СПК 20 > СПК 18 > СПК 15 > СПК 21 > СПК 13 >





>СПК 22>СПК 19, а дисперсии СКС – СПК 20> СПК 18>СПК 17>СПК 16>СПК 12>СПК 15>
>СПК 21>СПК 13>СПК 22>СПК 19>СПК 14.

Таблица 3 – Эффекты СКС гибридов кукурузы по массе 1000 зерен (2017–2018 гг.)

Table 3 – Specific combining ability effects of corn hybrids by weight of 1000 grains (2017–2018)

Год		2017 г.										
2018 г.	Линия	СПК 12	СПК 13	СПК 14	СПК 15	СПК 16	СПК 17	СПК 18	СПК 19	СПК 20	СПК 21	СПК 20
	СПК 12	–	0,13	–7,37	27,85	5,92	24,47	19,35	13,36	29,06	22,75	17,01
	СПК 13	–7,29	–	–5,13	25,95	11,21	1,07	29,80	15,53	–13,24	4,82	1,61
	СПК 14	–3,43	12,26	–	–2,66	0,35	4,31	5,79	30,87	20,35	12,48	15,75
	СПК 15	7,68	27,59	8,88	–	1,08	–17,96	19,96	–4,90	12,28	10,69	16,07
	СПК 16	–18,6	–6,43	2,14	7,38	–	25,78	20,58	8,84	33,79	16,95	13,44
	СПК 17	8,60	1,68	21,19	1,47	18,90	–	–11,76	2,67	15,87	21,71	–14,18
	СПК 18	3,32	–8,46	–21,26	–0,62	–4,50	–10,69	–	2,97	–2,63	0,18	1,60
	СПК 19	–10,99	–21,93	8,96	6,28	14,26	–7,08	–8,60	–	–15,30	–2,01	–4,94
	СПК 20	–18,23	19,31	–23,67	–25,88	–7,58	4,11	5,38	–23,99	–	–24,01	20,66
	СПК 21	–3,21	32,26	11,68	–3,66	–21,36	12,74	0,58	6,70	–30,68	–	–2,96
	СПК 22	7,34	–23,49	27,24	6,77	–16,66	–8,64	–2,23	–10,30	–1,41	–18,6	–

Расчет истинного и гипотетического гетерозиса свидетельствует о противоречивости его проявления. Так, в 2017 г. высокая степень (более 40 %) проявления истинного гетерозиса выявлена у 3 гибридов (таблица 4). У 19 гибридов степень проявления гетерозиса составляла 10–20 % и у 12 гибридов – 20–30 %. Гибридная депрессия признака установлена у 8 гибридов. В 2018 г. только у 14 гибридов выявлено превосходство над родительскими линиями. Степень проявления от 10 до 20 % характерна для 4 гибридов. Таким образом, в 2018 г. у 41 гибрида F_1 не установлено превосходства над самоопыленными линиями по массе 1000 зерен.

Положительный гипотетический гетерозис в 2017 г. выявлен во всех гибридных комбинациях. Высокая степень проявления гипотетического гетерозиса (более 40,0 %) определена у 8 гибридов. В 2018 г. положительный гетерозис характерен для 17 гибридов из 55, причем максимальная степень проявления не выше 20 %. У 12 гибридов кукурузы степень проявления составляла 0–10 %. У 69 % гибридов наблюдалось снижение значения признака «масса 1000 зерен» относительно родительских самоопыленных линий.

Таблица 4 – Степень и частота проявления гетерозиса у гибридов кукурузы по массе 1000 зерен, %

Table 4 – Degree and frequency of heterosis in corn hybrids by weight of 1000 grains, %

Тип гетерозиса	Год	Степень проявления							
		<–20	–20–10	–10–0	0–10	10–20	20–30	30–40	>40
Истинный	2017	–	–	8	8	19	12	6	3
	2018	9	20	12	10	4	–	–	–
Гипотетический	2017	–	–	–	4	14	15	14	8
	2018	2	16	20	12	5	–	–	–

Вероятно, условия года оказали значительное влияние на проявление истинного и гипотетического гетерозиса у гибридов кукурузы.

В результате расчета коэффициента корреляции установлена тесная взаимосвязь (на 1%-м уровне значимости) между эффектом СКС и истинным и гипотетическим гетерозисом (0,60 и 0,82 – в 2017 г.; 0,71 и 0,87 – в 2018 г.), а также между истинным и гипотетическим гетерозисами



(0,85 – в 2017 г. и 0,86 – в 2018 г.). Коэффициенты корреляции между массой 1000 зерен у гибридов кукурузы и эффектом СКС составили: 0,59 – в 2017 г. и 0,41 – в 2018 г.; между массой 1000 зерен и истинным гетерозисом – 0,33 и 0,35, между массой 1000 зерен и гипотетическим гетерозисом – 0,42 и 0,50 в зависимости от года исследований.

Масса 1000 зерен контролируется сложной генетической системой. Более полное представление о характере наследования признака «масса 1000 зерен» при скрещивании самоопыленных линий возможно при определении значения компонентов генетической дисперсии статистическими методами.

Адекватность аддитивно-доминантной модели рассматривается при исключении из расчета линий СПК 12 и СПК 16 в 2017 г. и линии СПК 16 в 2018 г. с эпистатическим взаимодействием генов.

Значения компонента аддитивного эффекта D в годы изучения существенны, но по абсолютной величине отмечено варьирование в зависимости от условий выращивания. Так, в более благоприятный 2017 г. он был выше на 23,05 %, чем в очень засушливый 2018 г.

Компонент F, отражающий направление доминирования в среднем по всем гибридам, характеризуется отрицательным значением в 2017 г. и положительным в 2018 г., однако он существенно не отличается от «0» (таблица 5). Поэтому следует принять в обсуждение, что данной группе родительских форм вклад доминантных и рецессивных генов в общую изменчивость признака «масса 1000 зерен» одинаков. Однако необходимо отметить, что доминирование направлено в сторону родительских линий с большим значением признака ($M_{I_1}-M_{I_0}>0$) только в 2017 г., а в 2018 г. – с меньшими показателями.

Показатель $(H_1/D)^{0.5}$ оценивает среднюю степень доминирования в каждом локусе, где доминирование имеет место. В условиях 2017 г. данный показатель более единицы, что указывает на сверхдоминирование, а в 2018 г. в контроле признака «масса 1000 зерен» определяет полное доминирование.

Показатель $H_2/4H_1$, отражающий соотношение аллелей с положительными и отрицательными эффектами, близок к теоретическому (0,25), что свидетельствует о равном вкладе этих аллелей в развитие данного признака в оба года исследований.

Существенное влияние в генетическом контроле массы 1000 зерен оказал паратипический коэффициент (E).

Таблица 5 – Генетические и средовые компоненты вариации, полученные на основе диаллельного анализа самоопыленных линий кукурузы по признаку «масса 1000 зерен»

Table 5 – Genetic and environmental components of variation bred by the diallelic analysis of self-pollinated corn lines for the trait “weight of 1000 grains”

Параметр	Значение компонента	Ошибка	t-критерий	Значение компонента	Ошибка	t-критерий
	2017 г.			2018 г.		
D	1064,02	15,01	6,78*	818,71	87,36	9,37*
F	–232,24	366,27	–0,63	9,84	201,57	0,05
H_1	1277,94	346,54	3,69*	835,04	185,96	4,49*
H_2	1259,96	297,90	4,23*	654,37	158,04	4,14*
H	5357,58	199,57	26,85*	460,54	105,79	4,35*
E	258,08	49,65	5,20*	258,66	26,34	9,82*
$M_{I_1}-M_{I_0}$	36,98			–11,86		
$(H_1/D)^{0.5}$	1,1			1,01		
$H_2/4H_1$	0,25			0,20		
H/H_2	4,26			0,71		
df	51			57		

* Значение критерия t на 5%-м уровне значимости.

Параметр fr значим на 5%-м уровне ($t_{факт.} > t_{05}$) для линий: в 2017 г. – СПК 13, СПК 15; в 2018 г. – СПК 14, СПК 18, СПК 20, СПК 22 (рисунок 5). Для самоопыленных линий кукурузы СПК 16 и СПК 12 характерен эпистаз (на графике t -критерий = 0) в 2017 г., для линии СПК 16 в 2018 г.; $t_{факт.} = 2,01$.

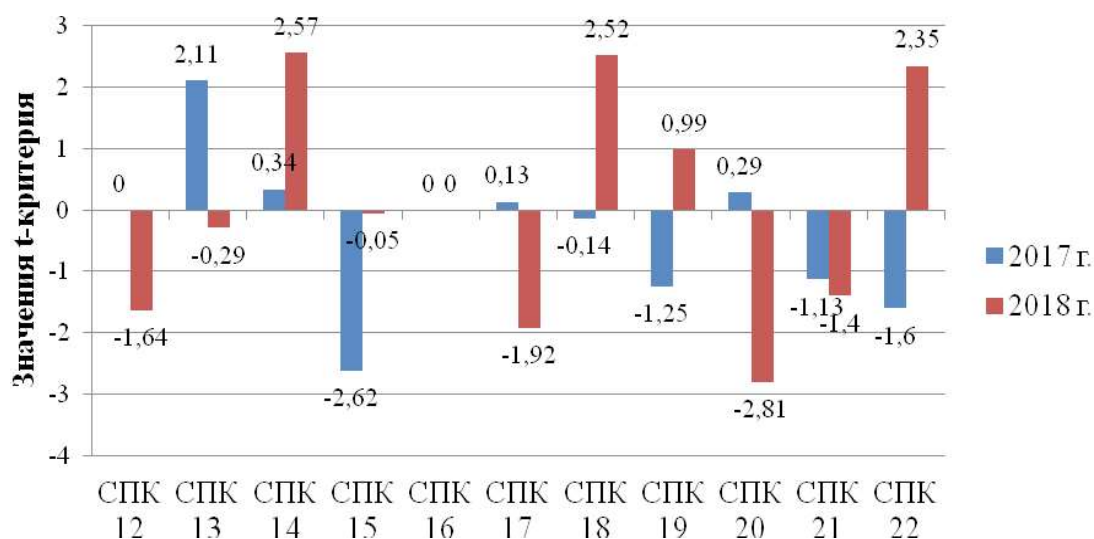


Рисунок 5 – Значения критерия t для компонентов fr линий кукурузы
Figure 5 – t criterion values for components fr of corn lines

Таким образом, анализ генетических компонентов указывает на тот факт, что в зависимости от условий выращивания выраженность признака «масса 1000 зерен» обусловлена разным числом генов. В условиях 2017 г. проявление данного признака контролируется четырьмя генами или группами генов, а в 2018 г. прослеживается моногенный характер детерминации крупности зерна. Данное обстоятельство соответствует утверждению о модели эколого-генетического контроля количественных признаков, заключающего в том, что смена лимитирующих факторов внешней среды обуславливает смену числа генов, контролирующих данный признак [5].

Заключение. В результате исследований установлено, что масса 1000 зерен самоопыленных линий кукурузы в 2017 г. изменялась от 158,7 до 243,9 г, а в 2018 г. от 168,0 до 263,2 г. Средние групповые значения признака у гибридов выше только в 2017 г., чем значения этого признака у самих линий. По результатам расчета ОКС и дисперсии СКС к линиям с высоким эффектом ОКС в 2017 г. относятся СПК 13 и СПК 16, а СПК 20 с высокой дисперсией СКС. В 2018 г. линии СПК 16, СПК 17 характеризуются высоким эффектом ОКС, а линии СПК 18 относительно высокой дисперсией СКС. Таким образом, в 2017 г. выделена линия кукурузы СПК 20, а в 2018 г. линия СПК 18 с высокими значениями эффектов ОКС и дисперсии СКС.

Высокая степень (более 40 %) проявления истинного гетерозиса в 2017 г. выявлена в трех гибридных комбинациях, гибридная депрессия установлена в 8 случаях. В 2018 г. наибольшая степень проявления истинного гетерозиса составляла 10–20 % и проявилась у 4 гибридов кукурузы. Положительный гипотетический гетерозис в 2017 г. выявлен во всех гибридных комбинациях. В 2018 г. положительный гетерозис характерен для 17 гибридов из 55, причем максимальная степень проявления не выше 20 %.

Установлено, что наследование признака «масса 1000 зерен» у гибридов кукурузы в условиях 2017 г. обусловлено сверхдоминированием, а проявление признака «масса 1000 зерен» контролируется четырьмя генами или группами генов, в 2018 г. при полном доминировании прослеживается моногенный характер детерминации крупности зерна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валекжанин В. С., Коробейников Н. И. Изменчивость и характер наследования массы 1000 зерен у сортов и гибридов мягкой яровой пшеницы в диаллельных скрещиваниях // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 7(141). С. 5–9.
2. Даниэль Л. Изучение наследования массы и формы зерна у кукурузы (*Zea mays* L.) в диаллельном скрещивании // Генетика. 1971. Т. 7. № 3. С. 37–50.





3. Донцова А. А., Филиппов Е. Г. Изучение закономерностей наследования массы 1000 семян гибридами F1 и F2 озимого ячменя в диаллельных скрещиваниях // Экология, генетика, селекция на службе человечества: материалы Междунар. науч. конф. Ульяновск, 2011. С. 20–27.
4. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Драгавцев В. А., Литун П. П., Шкель Н. М., Ничипоренко Н. Н. Модель эколого-генетического контроля количественных признаков растений // Доклады АН СССР. 1984. Т. 274. № 3. С. 720–723.
6. Жуковский П. М. Культурные растения и их сородичи. М.: Колос, 1971. 752 с.
7. Иванова О. М. Оптимизация азотного питания различных сортов озимой пшеницы в ЦЧЗ: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2013. 20 с.
8. Казанков А. Ф., Захарова Н. В. Принципы и методы использования сестринских линий в селекции и семеноводстве простых гибридов кукурузы // Вопросы селекции зерновых, зернобобовых культур и трав. Краснодар, 1977. С. 70–79.
9. Компанец Е. В., Козаченко М. Р., Васько Н. И. Комбинационная способность сортов ячменя ярового в системе диаллельных скрещиваний // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017. Т. 21. № 5. С. 537–544.
10. 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.
11. Омаров Д. С. К методике учета и оценки гетерозиса у растений // Сельскохозяйственная биология. М.: Колос, 1975. С. 123–127.
12. Паспорта доноров селекционно-ценных признаков сельскохозяйственных культур. СПб., 2001. Вып. 16. 23 с.
13. Пискарев В. В., Цильке Р. А., Тимофеев А. А. Применение диаллельного анализа исходного материала по количественным признакам в селекции: метод. рекомендации // ГНУ Сиб. НИИ растениеводства и селекции Рос. акад. с.-х. наук. Новосибирск, 2011. 28 с.
14. Соколов В. М., Вареник Б. Ф., Палюгин А. С., Гужва Д. В. Селекционная оценка элитных самоопыленных линий кукурузы из основных гетерозисных групп зародышевой плазмы // Генетика, селекция и технология возделывания кукурузы. Краснодар, 1999. С. 92–96.
15. Толорая Т. Р. Влияние агроприемов и метеусловий на динамику продуктивности гибридов кукурузы разных групп спелости // Генетика, селекция и технология возделывания кукурузы. Краснодар, 1999. С. 289–295.
16. Целуйко О. А., Медведева В. И. Зависимость массы 1000 зерен сельскохозяйственных культур от удобрений // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 33(53). С. 58–60.
17. Цильке Р. А. Генетика, цитогенетика и селекция растений // Собрание научных трудов. Новосибирск, 2003. 620 с.
18. Чалык Т. С. Закономерности проявления элементов структуры урожая кукурузы и влияние их на урожайность гибрида первого поколения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Харьков, 1986. 22 с.
19. Шмараев Г. Е. Генофонд и селекция кукурузы / под. ред. В.А. Драгавцева. СПб., 1999. 390 с.
20. Шмараев Г. Е. Использование мирового генофонда кукурузы в селекционно-генетических исследованиях // Тр. по приклад. ботанике, генетике и селекции. 1987. Т. 105. С. 11–15.
21. Шмараев Г. Е. Кукуруза (филогения, классификация, селекция). М., 1975. 304 с.
22. Griffing B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems // J. Biol. Sci. 1956. No. 9. P. 463–493.
23. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses // Genetics. 1954. Vol. 10. P. 23–24.

REFERENCES

1. Valekzhanin V. S., Korobeinikov N.I. Variability and nature of inheritance of the mass of 1000 grains in varieties and hybrids of soft spring wheat in diallelic crosses. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2016;7(141):5–9. (In Russ.).
2. Daniel L. Study of the inheritance of grain weight and shape in corn (*Zea mays* L.) in diallelic crossing. *Genetics*. 1971;7(3):37–50. (In Russ.).
3. Dontsova A. A., Filippov E. G. Study of the patterns of inheritance of the mass of 1000 seeds by hybrids F1 and F2 of winter barley in diallel crosses. *Ecology, genetics, selection in the service of humanity*. Ulyanovsk, 2011:20–27. (In Russ.).

4. Dosphehov B. A. Methodology of field experience. Moscow; 1985. 351 p. (In Russ.).

5. Dragavtsev V. A., Litun P. P., Shkel N. M., Nichiporenko N. N. Model of ecological-genetic control of quantitative traits of plants. *Reports of the USSR Academy of Sciences*. 1984;274(3):720–723. (In Russ.).

6. Zhukovsky P. M. Cultivated plants and their relatives. Moscow; 1971. 752 p. (In Russ.).

7. Ivanova O. M. Optimization of nitrogen nutrition of various varieties of winter wheat in the Central Chernobyl Plant: abstract of Ph. D. thesis. Moscow; 2013. 20 p. (In Russ.).

8. Kazankov A. F., Zakharova N. V. Principles and methods of using sister lines in the selection and seed production of simple corn hybrids. *Issues of selection of grains, leguminous crops and grasses*. Krasnodar, 1977:70–79. (In Russ.).

9. Kompanets E. V., Kozachenko M. R., Vasko N. I. Combination ability of spring barley varieties in the system of diallel crossings. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(5):537–544. (In Russ.).

10. 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. Moscow, 1989. 194 p. (In Russ.).

11. Omarov D. S. Towards a methodology for accounting and assessing heterosis in plants. *Agricultural Biology*. Moscow; 1975. P. 123–127. (In Russ.).

12. Passports of donors of breeding valuable traits of agricultural crops. St. Petersburg. 2001;(16):23. (In Russ.).

13. Piskarev V. V., Tsilke R. A., Timofeev A. A. Application of diallelic analysis of source material based on quantitative traits in breeding. Novosibirsk, 2011. 28 p. (In Russ.).

14. Sokolov V. M., Varenik B. F., Palyugin A. S., Guzhva D. V. Breeding assessment of elite self-pollinated lines of corn from the main heterotic groups of germplasm. *Genetics, selection and technology of corn cultivation*. Krasnodar; 1999. P. 92–96. (In Russ.).

15. Toloraya T. R. The influence of agricultural practices and weather conditions on the dynamics of productivity of corn hybrids of different maturity groups. *Genetics, selection and technology of corn cultivation*. Krasnodar; 1999. P. 289–295. (In Russ.).

16. Tseluiko O. A., Medvedeva V. I. Dependence of the mass of 1000 grains of agricultural crops on fertilizers. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2015;33(53):58–60. (In Russ.).

17. Tsilke R. A. Genetics, cytogenetics and plant breeding. *Collection of scientific papers*. Novosibirsk, 2003. 620 p. (In Russ.).

18. Chalyk T. S. Patterns of manifestation of elements of the structure of the corn crop and their influence on the yield of the first generation hybrid: abstract of Ph.D. thesis. Kharkov; 1986. 22 p. (In Russ.).

19. Shmaraev G. E. Gene pool and selection of corn. St. Petersburg, 1999; 390 p. (In Russ.).

20. Shmaraev G. E. Use of the world corn gene pool in breeding and genetic research. *Works on applied botany, genetics and breeding*. 1987;(105):11–15. (In Russ.).

21. Shmaraev G. E. Corn (phylogeny, classification, selection). Moscow; 1975. 304 p. (In Russ.).

22. Griffing B. Concept of general and combining ability in relation to diallel crossing systems. *J. Biol. Sci.* 1956;(9):463–493.

23. Hayman B. I. The theory and analysis of diallel crosses. *Genetics*. 1954;(10):23–24.

Статья поступила в редакцию 9.11.2023; одобрена после рецензирования 2.12.2023; принята к публикации 21.12.2023.

The article was submitted 9.11.2023; approved after reviewing 2.12.2023; accepted for publication 21.12.2023.

