

Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности

О.П. Кибальник

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» «Россорго», Саратов, Россия

Цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС) широко применяется в гетерозисной селекции сельскохозяйственных культур, в том числе сорго. В селекционной работе РосНИИСК «Россорго» используется скороспелый и адаптированный к условиям возделывания в Нижнем Поволжье исходный материал – коллекция ЦМС-линий на основе разных типов стерильных цитоплазм (А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А) и сортов зернового сорго. Для создания высокогетерозисных гибридов необходимо выявить родительские формы с высокой комбинационной способностью. Гибриды получены на основе восьми ЦМС-линий: А1 О-Янг 1, А2 КВВ 114, А2 Восторг, А2 Тамара, А3 Фетерита 14, А4 КП 70, М-35-1А Пищевое 614, 9Е Пищевое 614. В качестве опылителей (тестеров) в скрещиваниях включены семь сортов: Меркурий, Огонек, Аванс, Топаз, Волжское 615, Пищевое 35, Волжское 4. Испытания проведены на опытном поле РосНИИСК «Россорго» в 2015–2016 гг. Метеорологические условия в период проведения исследований различались по количеству осадков и сумме активных температур. Комбинационную способность (КС) исходного материала определяли по методу топкросса. Установлено, что у сорго проявление признаков (высота растений, параметры соцветий, масса зерна с одной метелки и 1000 зерен, урожайность) контролируют гены с аддитивным эффектом. Для дальнейшей селекции на гетерозис выделены ЦМС-линии (А1 О-Янг 1, А3 Фетерита 14 и А4 КП 70), у которых высокие эффекты общей комбинационной способности по основным селекционным признакам отличаются стабильностью по годам. Высокой КС также характеризуются сорта Волжское 4 (по высоте растений, массе зерна с одной метелки и урожайности), Аванс и Топаз (по массе 1000 зерен и урожайности). Для конкурсного сортоиспытания выявлены перспективные гибриды F₁ сорго с высокими эффектами специфической комбинационной способности по урожайности и массе 1000 зерен. Предложены гибриды для создания синтетических сортов-популяций.

Ключевые слова: сорго; гибриды F₁; цитоплазматическая мужская стерильность; типы ЦМС; комбинационная способность; селекционно-ценные признаки.

КАК ЦИТИРОВАТЬ ЭТУ СТАТЬЮ:

Кибальник О.П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(6):651-656. DOI 10.18699/VJ17.282

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Kibalnik O.P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility. Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(6):651-656. DOI 10.18699/VJ17.282 (in Russian)

УДК 633.174:631.52

Поступила в редакцию 09.06.2017 г.

Принята к публикации 24.07.2017 г.

© АВТОР, 2017

Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility

O.P. Kibalnik

Russian Research and Project-Technologic Institute for Sorghum and Maize "Rossorgo", Saratov, Russia

Cytoplasmic male sterility (CMS) is widely used in heterosis breeding of crops, including sorghum. In breeding work, "Rossorgo" uses early maturing source material adapted to the conditions of cultivation in the Lower Volga region, a collection CMS-lines with different types of sterile cytoplasm (A1, A2, A3, A4, 9E, M-35-1A) and varieties of grain sorghum. To create heterosis hybrids, it is required to identify the parental form with a high combining ability. Hybrids were derived from CMS-lines: A1 O-Yang 1, A2 KVV 114, A2 Vostorg, A2 Tamara, A3 Feterita 14, A4 KP 70, M-35-1A and 9E Pischevov 614. The pollinators (testers) to crossing included varieties of grain sorghum: Mercury, Ogonek, Avans, Topaz, Volzhskoe 615, Pischevov 35, Volzhskoe 4. The tests were conducted on the experimental field of "Rossorgo" in 2015–2016. Meteorological conditions during the studies differed in the amount of precipitation and the sum of active temperatures. Combining ability (CA) of the starting material was determined by the method of topcross. It was found that the manifestation of traits (plant height, parameters of the panicle, the weight of grains in one panicle and 1000 grains, yield) in sorghum is controlled by genes with additive effect. For further breeding for heterosis, CMS-lines (A1 O-Yang 1, A3 Feterita 14 and A4 KP 70) were selected with strong high effects of GCA on the main breeding grounds stable for years. High CA also characterized varieties Volzhskoe 4 (height of plant, weight of grains in one panicle and yield), Avans and Topaz (mass of 1000 grains and yield). For competitive variety trials, promising F₁ hybrids of sorghum with high SCA effects for yield and weight of 1000 grains were identified. Hybrids to create synthetic varieties-populations were proposed.

Key words: sorghum; hybrids F₁; cytoplasmic male sterility; types of CMS; combining ability; breeding valuable traits.

Зерновое сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) является одной из наиболее засухоустойчивых и высокоурожайных сельскохозяйственных культур в мировом земледелии и возделывается в регионах с острозасушливым климатом. По общей площади посевов среди зерновых культур сорго занимает пятое место после пшеницы, риса, кукурузы и ячменя (Hundekar et al., 2014; Mohamed et al., 2015). В России зерновое сорго выращивается в основном для производства зернофуража и моноцорма (Алабушев и др., 2003; Ковтунова, Ковтунов, 2016); возможно также применение его в пищевой и перерабатывающей промышленности (Ковтунов, Горпиниченко, 2011; Никитин и др., 2016). Для дальнейшего распространения этой культуры селекционерам следует создавать скороспелые, адаптированные сорта и гибриды, обеспечивающие высокую урожайность в условиях конкретной микрозоны возделывания.

В настоящее время селекционная работа по созданию гибридов сорго основана на включении в скрещивания материнской формы – линий с цитоплазматической мужской стерильностью и отцовской – восстановителей фертильности (сортов или линий). В связи с этим необходимый этап в селекции на гетерозис – изучение общей (ОКС) и специфической (СКС) комбинационной способности исходного материала (Кибальник и др., 2014; Justin et al., 2015). Известно, что ОКС определяется действием аддитивных генов, а СКС – доминантных и эпистатических (Kumar et al., 2013; Жужукин и др., 2016; Хотылева и др., 2016). Родительские формы с высокими эффектами ОКС являются источниками селекционно-ценных признаков и более приспособлены к условиям выращивания (Fasahat et al., 2016). Поэтому результаты оценки комбинационной способности позволяют более эффективно применять их в селекционных программах скрещиваний и способствуют выявлению гибридов, превосходящих родительские формы по основным хозяйственным признакам (Kenga et al., 2006; Reddy et al., 2007; Беседа и др., 2009).

В селекции сорго на гетерозис в основном используются стерильные линии с высокой комбинационной способностью, полученные на основе цитоплазмы А1 (Mahdy et al., 2011; More et al., 2014; Patil, Kute, 2015). Для повышения адаптивного потенциала гибридов необходимо расширение генетического разнообразия исходного материала, в том числе включение в качестве компонентов скрещиваний стерильных линий с разными типами ЦМС. У сорго известно большое количество ЦМС-индуцирующих цитоплазм – А1, А2, А3, А4, А5, А6, 9Е, М-35-1А и др. (Reddy et al., 2005). На основании этого селекционеры включают в схемы скрещиваний ЦМС-линии с новыми типами стерильности – А2 и А3 (Mohammed, 2009; Reddy et al., 2009; Aruna et al., 2013; Гаршин и др., 2014), А4, 9Е и М-35-1А (Кибальник, Эльконин, 2014; Кибальник, 2016). Цель данной работы заключалась в оценке комбинационной способности новых стерильных линий (с типами ЦМС – А1, А2, А3, А4, 9Е, М-35-1А) и сортов сорго по селекционно-ценным признакам.

Материалы и методы

Гибриды F₁ получены на основе ЦМС-линий: ВС₇ – А1 О-Янг 1; ВС₁₅ – А2 КВВ 114; ВС₁₂ – А2 Восторг;

ВС₇ – А2 Тамара; ВС₁₂ – А3 Фетерита 14; ВС₁₂ – А4 КП 70; ВС₁₂ – М-35-1А Пищевое 614 (П-614); ВС₁₂ – 9Е Пищевое 614 (Elkonin et al., 1995, 1997; Эльконин и др., 1997). В качестве опылителей (тестеров) использовали сорта зернового сорго (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) селекции РосНИИСК «Россорго»: Меркурий, Огонек, Аванс, Топаз, Волжское 615, Пищевое 35, Волжское 4. Все участвующие в гибридизации тестеры до начала опыления ежегодно поддерживались в условиях изоляции.

Гибриды F₁ выращивали на опытном поле РосНИИСК «Россорго» в 2015–2016 гг. Площадь делянки – 7,7 м². Размещение делянок рендомизированное (Доспехов, 2011). Повторность в опыте трехкратная. Густоту стояния растений устанавливали вручную (100 тыс. раст./га). Оценка селекционно-ценных признаков гибридов F₁ и учеты проводили по общепринятой методике (Методика государственного сортоиспытания..., 1989).

Метеорологические условия за период испытания гибридов F₁ сорго различались. В 2015 г. выпало 106,2 мм осадков, а сумма активных температур составила 2613,1 °С. Погодные условия 2016 г. характеризовались большим количеством осадков (178,3 мм) и суммой активных температур (2805,0 °С).

Комбинационную способность компонентов скрещиваний определяли по методу топкросса (Савченко, 1973). Статистическая обработка экспериментальных результатов исследований выполнена методом однофакторного дисперсионного анализа с помощью программы AGROS 2.09.

Результаты и обсуждение

Общая комбинационная способность

Материнские линии. Высокие эффекты ОКС по длине и ширине соцветия, массе зерна с одной метелки отмечены у стерильной линии А1 О-Янг 1. ЦМС-линия А2 КВВ 114 характеризуется высокой ОКС по урожайности, ширине соцветия и средней – по высоте растений. Гибриды, полученные с использованием линии А3 Фетерита 14, отличались высокорослостью и наибольшей урожайностью зерна. Стерильная линия А4 КП 70 обладает высокой ОКС по массе 1000 зерен (3,91–4,32) и средней – по массе зерна с одной метелки (0,41–0,99). Материнская линия А2 Восторг выделилась средними значениями ОКС по высоте растений (3,12–11,44) и ширине соцветия (0,15–0,21). Низкая ОКС выявлена у линий А2 Тамара, М-35-1А Пищевое 614 и 9Е Пищевое 614 (табл. 1).

Показатели высоких эффектов ОКС ЦМС-линий А1 О-Янг 1, А3 Фетерита 14 и А4 КП 70 отличаются стабильностью по годам. Вместе с тем значительная реакция стерильных линий на сложившиеся метеоусловия по ОКС длины соцветия отмечена у А2 КВВ 114, А2 Восторг, 9Е Пищевое 614; ширины соцветия – 9Е Пищевое 614; массы зерна с одной метелки – А2 Восторг; массы 1000 зерен – М-35-1А Пищевое 614 и урожайности зерна – А2 Восторг.

Тестеры. Среди сортов высокая ОКС по высоте растений, массе зерна с одной метелки и урожайности выявлена у Волжского 4 (см. табл. 1). Сорта Топаз и Аванс характеризуются высокими эффектами ОКС по

Таблица 1. Эффекты ОКС компонентов скрещиваний по селекционно-ценным признакам

Стерильные линии, сорта	Высота растений		Длина соцветия		Ширина соцветия		Масса зерна с одной метелки		Масса 1000 зерен		Урожайность зерна	
	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.
ЦМС-линии												
А1 О-Янг 1	-2.64	7.70	4.66	5.12	1.88	2.07	5.04	10.05	-2.27	-1.95	-0.83	1.48
А2 КВВ 114	7.86	1.96	0.30	-0.37	4.05	1.27	-0.28	-2.51	-3.60	-2.93	0.94	0.04
А2 Тамара	-	-15.83	-	-0.74	-	1.73	-	-1.59	-	2.51	-	-0.43
А2 Восторг	3.12	11.44	-1.25	1.26	0.15	0.21	3.79	-5.01	-0.14	-1.58	1.28	-0.46
А3 Фетерита14	22.80	22.67	-3.71	-2.51	-1.57	-0.02	-1.87	2.63	3.53	2.59	0.27	1.04
А4 КП 70	-2.99	-1.98	-0.56	2.39	-4.82	-0.69	0.41	0.99	3.91	4.32	0.16	-0.55
М-35-1А Пищевое 614	-12.90	-12.98	-0.40	-2.67	-2.04	-2.26	-5.70	-1.93	0.30	-1.10	-1.33	-0.63
9Е Пищевое 614	-15.20	-12.99	0.98	-2.46	2.34	-2.29	-1.39	-2.61	-1.73	-1.85	-0.48	-0.48
F _{факт.}	213.4*	660.9*	38.5*	108.6*	65.0*	121.3*	56.4*	52.6*	190.8*	45.7*	114.6*	48.8*
Тестеры												
Меркурий	-8.24	-4.58	-0.92	3.22	-0.48	1.48	-6.72	-2.90	-0.80	-0.73	-0.87	0.40
Огонек	-12.32	-5.18	-2.07	-0.69	0.02	0.11	-9.03	-6.98	-0.64	-1.63	-1.03	-0.62
Аванс	-3.82	-0.19	0.79	-0.95	-1.85	-0.01	1.00	2.96	4.15	3.14	0.50	0.28
Топаз	-2.33	0.26	-3.22	0.62	-3.73	-0.31	3.24	0.11	2.32	1.26	0.10	0.48
Волжское 615	7.12	-3.23	-1.18	0.56	1.43	0.15	0.86	5.35	-1.47	0.26	0.09	-0.13
Пищевое 35	14.95	4.06	2.04	-2.32	1.42	-0.80	1.79	-1.09	-2.13	-1.60	0.34	-0.53
Волжское 4	4.64	8.86	4.56	-0.44	3.20	-0.60	8.84	2.55	-1.40	-0.70	0.86	0.12
F _{факт.}	113.2*	104.0*	42.4*	48.7*	10.31*	27.2*	159.3*	46.7*	126.0*	21.1*	64.1*	16.8*

* $p \leq 0.05$.

массе 1000 зерен (1.26–2.32 и 3.14–4.15 соответственно) и урожайности (0.10–0.48 и 0.28–0.50 соответственно). Наибольшие значения ОКС по ширине соцветия и массе зерна с одной метелки отмечены у сорта Волжское 615. У сортов Меркурий и Огонек установлены отрицательные значения эффектов ОКС по высоте растений и элементам структуры урожайности зерна.

Показатели эффектов ОКС отцовских форм также изменялись в зависимости от сложившихся погодных условий по признакам: высота растений (Топаз, Волжское 615); длина соцветия (у всех сортов, кроме Огонек); масса зерна с одной метелки (Пищевое 35), масса 1000 зерен (Волжское 615) и урожайность зерна (Меркурий, Волжское 615, Пищевое 35).

Специфическая комбинационная способность

Материнские линии. Анализ дисперсий СКС стерильных линий показал, что высокие значения по высоте растений и ширине соцветий установлены у А2 КВВ 114; по массе зерна с одной метелки и урожайности – А2 Восторг; по ширине соцветия и урожайности – А3 Фетерита 14 (табл. 2). Стерильная линия А4 КП 70 характеризуется высокой СКС по массе 1000 зерен (13.94–36.12) и средней – по всем селекционно-ценным признакам.

Выявлено существенное изменение показателей дисперсии СКС у компонентов скрещиваний в зависимости от метеословий года исследований. Высокая дисперсия СКС

в отдельные сезоны отмечена у ЦМС-линий: А1 О-Янг 1 (по высоте растений, массе зерна с одной метелки и урожайности), А2 КВВ 114 (по массе 1000 зерен и урожайности зерна), А2 Восторг (по высоте растений); а стабильные показатели – А3 Фетерита 14 (по высоте растений, длине соцветий, массе зерна с одной метелки и урожайности), А2 Восторг (по урожайности зерна – 1.28–1.79), М-35-1А Пищевое 614 (по массе 1000 зерен – 8.89–9.77), 9Е Пищевое 614 (по параметрам соцветий, массе зерна с одной метелки и 1000 зерен).

Тестеры. Высокой специфической комбинационной способностью отличаются сорта: Волжское 4 (по всем признакам, кроме длины соцветия), Меркурий и Аванс (по урожайности – 0.69–2.34), Огонек (по ширине соцветия – 3.49–14.95), Топаз (по длине соцветия и урожайности зерна), Пищевое 35 (по высоте растений – 79.16–147.89). Сорт Волжское 615 характеризуется средними значениями дисперсий СКС по элементам структуры урожайности, параметрам соцветия и низкими – по высоте растений. Слабое варьирование значений дисперсий СКС установлено у сортов: Аванс и Волжское 4 (по высоте растений), Меркурий (по массе 1000 зерен), Топаз (по высоте растений и урожайности зерна), Огонек (по массе зерна с одной метелки и урожайности зерна), Пищевое 35 (по массе зерна с одной метелки и 1000 зерен, урожайности зерна).

Для выявления перспективных гибридов сорго используют оценку эффектов СКС (табл. 3). Среди изученных

Таблица 2. Дисперсия СКС родительских форм сорго по основным селекционным признакам

Стерильные линии, сорта	Высота растений		Длина соцветия		Ширина соцветия		Масса зерна с одной метелки		Масса 1000 зерен		Урожайность зерна	
	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.
ЦМС-линии												
A1 О-Янг 1	104.47	55.12	6.41	5.24	14.43	3.16	271.62	22.00	6.61	7.97	0.24	1.82
A2 KBB 114	129.25	234.44	8.50	6.63	11.03	5.45	76.52	14.36	10.02	1.65	1.31	0.50
A2 Тамара	–	33.44	–	19.68	–	2.23	–	24.78	–	18.30	–	0.22
A2 Восторг	36.06	179.13	3.47	2.66	4.35	0.76	94.97	77.51	7.42	4.28	1.28	1.79
A3 Фетерита 14	47.41	44.70	12.07	10.15	10.70	5.52	44.11	42.34	6.98	9.48	1.84	1.68
A4 КП 70	24.95	85.68	54.27	6.82	12.02	0.64	6.08	44.75	13.94	36.12	0.26	1.50
M-35-1A Пищевое 614	70.30	36.16	17.44	6.32	6.38	1.72	14.80	73.75	9.77	8.89	0.61	0.29
9E Пищевое 614	89.33	46.07	3.46	4.20	2.60	1.33	25.89	27.86	5.51	4.42	1.41	0.42
Тестеры												
Меркурий	40.38	62.83	11.27	6.13	4.04	3.69	10.19	61.67	10.36	11.53	0.69	2.34
Огонек	54.64	82.89	9.09	10.41	14.95	3.49	24.56	26.61	10.11	4.14	0.94	0.87
Аванс	70.80	68.33	7.13	13.86	8.11	1.12	78.64	23.72	10.43	2.20	1.92	0.29
Топаз	73.05	74.24	50.85	6.92	4.59	2.01	57.48	16.98	4.99	12.78	1.20	1.36
Волжское 615	44.49	38.78	10.45	8.58	11.35	2.04	24.83	77.04	6.54	11.60	0.17	1.02
Пищевое 35	79.16	147.89	4.26	2.83	3.84	2.28	23.05	24.80	9.46	10.56	0.10	0.25
Волжское 4	139.25	137.68	12.57	4.16	14.64	3.21	315.25	49.77	8.37	25.28	1.92	0.89
F _{факт.} (родительских форм)	15.1*	51.8*	15.0*	17.7*	10.3*	18.1*	55.1*	16.0*	33.4*	11.5*	21.4*	12.4*

* $p \leq 0.05$.

Таблица 3. Эффекты СКС лучших гибридов сорго по морфологическим признакам и элементам структуры урожая

Комбинация скрещивания	Высота растений		Длина соцветия		Ширина соцветия		Масса зерна с одной метелки		Масса 1000 зерен		Урожайность зерна	
	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.
A2 KBB 114/Волжское 4	22.6	22.36	-2.26	3.38	-1.18	2.76	-8.04	-4.36	1.32	1.16	-0.40	0.65
A2 Восторг/Пищевое 35	10.1	23.17	-0.01	-1.07	-0.21	0.42	6.33	-9.48	0.27	-0.66	0.31	-0.72
A1 О-Янг 1/Аванс	14.0	11.68	-2.01	3.00	0.05	-0.22	-10.2	7.07	0.03	1.86	-0.48	0.41
A3 Фетерита 14/Топаз	0.61	7.44	4.25	1.95	1.68	-0.32	11.8	-5.03	-0.60	-0.38	0.73	-0.93
A4 КП 70/Волжское 615	5.88	5.80	6.15	1.40	6.14	-0.22	1.74	-0.57	-2.32	-5.51	0.01	1.06
A3 Фетерита 14/Огонек	1.96	3.09	3.53	2.48	5.49	2.93	-5.77	4.19	4.52	0.83	-1.38	1.32
A1 О-Янг 1/Волжское 4	-12.9	-9.58	4.24	-2.01	6.98	-2.63	36.7	3.59	-1.25	0.33	1.05	-1.57
A2 KBB 114/Аванс	-2.41	5.52	2.16	2.40	5.88	1.47	15.1	3.46	4.56	-1.05	2.40	-0.06
A4 КП 70/Волжское 4	6.63	-4.29	4.97	1.11	-3.03	0.33	-2.34	11.79	5.09	9.62	-0.06	1.27
A4 КП 70/Меркурий	-1.50	5.85	1.67	-1.85	0.43	1.14	0.93	-9.47	3.79	6.32	0.71	-2.45
A1 О-Янг 1/Волжское 615	7.08	-8.38	0.53	-0.02	-3.19	2.40	-9.49	-5.86	5.31	4.68	-0.17	0.52
A2 Восторг/Огонек	-3.65	-0.17	1.30	1.49	-2.81	0.29	-6.10	4.27	4.55	4.03	-1.03	1.30
A3 Фетерита 14/Волжское 4	0.33	-8.25	-3.47	-2.76	-3.91	-2.03	4.24	3.94	-3.62	-5.41	2.48	0.31
A1 О-Янг 1/Топаз	-8.78	-1.78	1.11	3.41	-3.31	-0.02	-1.77	-1.27	0.16	-2.36	-0.17	2.57
A2 Восторг/Меркурий	4.98	-12.3	-0.76	2.57	1.18	0.73	2.25	15.26	0.45	0.99	-0.54	2.45

Таблица 4. Среднеквадратические отклонения общей и специфической комбинационной способности по селекционным признакам

Признак	Отклонения ms_{OKC} и ms_{CKC}		Отношение ms_{OKC}/ms_{CKC}	
	2015 г.	2016 г.	2015 г.	2016 г.
ЦМС-линии				
Высота растений	1177.8/83.6	1300.6/102.1	14.1	12.7
Длина соцветия	45.1/17.6	53.8/8.8	2.6	6.1
Ширина соцветия	64.6/10.2	19.8/2.9	6.3	6.8
Масса зерна с одной метелки	91.1/89.0	153.6/46.7	1.02	3.3
Масса 1000 зерен	57.3/10.0	51.4/13.0	5.7	3.9
Урожайность зерна	6.2/1.1	4.6/1.1	5.6	4.2
Тестеры				
Высота растений	625.1/83.6	204.8/102.1	7.5	2.0
Длина соцветия	49.7/17.6	24.1/8.8	2.8	2.7
Ширина соцветия	37.3/10.2	4.4/2.9	3.7	1.5
Масса зерна с одной метелки	257.4/89.0	136.5/46.7	2.9	2.9
Масса 1000 зерен	37.8/10.0	23.7/13.0	3.7	1.8
Урожайность зерна	3.4/1.1	1.5/1.1	3.1	1.4

Примечание. Данные в столбцах по каждому признаку: ms_{OKC} – в числителе, ms_{CKC} – в знаменателе.

комбинаций скрещиваний отмечено 15 гибридов F_1 с высокими эффектами СКС: по высоте растений (А2 КВВ 114/Волжское 4, А2 Восторг/Пищевое 35, А1 О-Янг 1/Аванс); длине соцветий (А3 Фетерита 14/Топаз); ширине соцветий (А3 Фетерита 14/Огонек); массе зерна с одной метелки (А1 О-Янг 1/Волжское 4, А2 КВВ 114/Аванс); массе 1000 зерен (А1 О-Янг 1/Волжское 615, А4 КП 70/Волжское 4, А4 КП 70/Меркурий); урожайности зерна (А1 О-Янг 1/Топаз, А2 Восторг/Меркурий, А2 КВВ 114/Аванс, А3 Фетерита 14/Волжское 4).

В дальнейшее конкурсное сортоиспытание рекомендуется включить низкорослые и среднерослые гибриды (А1 О-Янг 1/Волжское 615, А2 Восторг/Меркурий, А2 КВВ 114/Аванс, А4 КП 70/Волжское 4), характеризующиеся крупным зерном и высокой урожайностью. Остальные 11 гибридов F_1 следует использовать в селекционных программах по созданию синтетических сортов-популяций с целью улучшения морфологических признаков и элементов структуры урожая.

Генетический контроль селекционно-ценных признаков

Отношение среднеквадратических отклонений общей и специфической комбинационной способности указывает на преобладание аддитивных эффектов над неаддитивными ($ms_{OKC}/ms_{CKC} > 1$) в генетическом контроле всех изученных признаков: материнских линий 1.8–13.3, сортов (тестеров) – 2.3–4.5. Высокие показатели отношения среднеквадратических отклонений ОКС и СКС отмечены по высоте растений. Показатели отношения ms_{OKC}/ms_{CKC} по признакам у материнских (длина соцветий, масса зерна с одной метелки и 1000 зерен) и отцовских (высота растений, ширина соцветия, масса 1000 зерен и урожайность) форм изменялись по годам (табл. 4). При этом по высоте растений, ширине соцветий и урожайности зерна

у ЦМС-линий, а также по длине соцветия и массе зерна с одной метелки у сортов величина отношения ms_{OKC}/ms_{CKC} оставалась относительно стабильной.

Таким образом, оценка комбинационной способности ЦМС-линий на основе разных типов стерильности и сортов зернового сорго позволила выделить перспективные комбинации скрещиваний для дальнейшего конкурсного сортоиспытания, а также создания синтетических сортов-популяций. Для получения высокопродуктивных гибридов с улучшенным комплексом селекционно-ценных признаков в программу скрещиваний рекомендуется включать в качестве материнских форм – А1 О-Янг 1, А2 КВВ 114, А3 Фетерита 14 и А4 КП 70; отцовских – Волжское 4, Аванс и Топаз. Установлено, что в генетическом контроле признаков сорго (высота растений, параметры соцветий, масса зерна с одной метелки и 1000 зерен, урожайность зерна) участвуют гены с аддитивным эффектом.

Благодарности

Работа поддержана бюджетным финансированием по государственному заданию (2015–2016 гг.).

Автор выражает благодарность д-ру с.-х. наук В.И. Жукину за помощь при подготовке рукописи статьи.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

- Алабушев А.В., Анипенко Л.Н., Гурский Н.Г., Коломиец Н.Я., Костылев П.И., Мангуш П.А., Алабушева О.И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Ростов-на-Дону: Книга, 2003.
- Беседа Н.А., Костылев П.И., Горпиниченко С.И. Комбинационная способность сорго зернового в системе диаллельных скрещиваний. Зерновое хозяйство России. 2009;1:14-16.

- Гаршин А.Ю., Жужукин В.И., Семин Д.С. Определение комбинационной способности сортообразцов сахарного сорго по качеству зерна в тестерных скрещиваниях. Кукуруза и сорго. 2014;1: 20-23.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011.
- Жужукин В.И., Семин Д.С., Гаршин А.Ю. Оценка комбинационной способности сахарного сорго по хозяйственно ценным признакам в тестерных скрещиваниях. Кукуруза и сорго. 2016;1:11-13.
- Кибальник О.П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго по элементам урожайности. Кукуруза и сорго. 2016; 3:23-27.
- Кибальник О.П., Эльконин Л.А. Комбинационная способность новых ЦМС-линий и сортов зернового сорго. Кукуруза и сорго. 2014;2:25-28.
- Кибальник О.П., Эльконин Л.А., Бычкова В.В. Комбинационная способность ЦМС-линий сорго по урожайности зеленой массы. Зерновое хозяйство России. 2014;6:5-8.
- Ковтунов В.В., Горпиниченко С.И. Основные направления использования сорго зернового. Зерновое хозяйство России. 2011;6: 28-32.
- Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. Использование сорго и основные направления селекционной работы во ВНИИЗК им. И.Г. Калиненко. Тавр. вестн. аграр. науки. 2016;3(7):60-70.
- Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. М., 1989.
- Никитин И.А., Свечников А.Ю., Зоц А.Д., Алфимова А.Д., Татраев Д.А., Мириев М.О. Анализ применения зерна сорго и продуктов его переработки в технологии хлебобулочных и мучных кондитерских изделий. Технические науки – от теории к практике. 2016;12(30):123-129.
- Савченко В.К. Метод оценки комбинационной способности генетически разнокачественных наборов родительских форм. Методики генетико-селекционного и генетического экспериментов. Минск: Наука и техника, 1973;48-77.
- Хотылева Л.В., Кильчевский А.В., Шаптуренко М.Н. Теоретические аспекты гетерозиса. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016;20(4):482-492. DOI 10.18699/VJ16.174.
- Эльконин Л.А., Кожемякин В.В., Ишин А.Г. Использование новых типов ЦМС-индуцирующих цитоплазм для создания скороспелых линий сорго с мужской стерильностью. Докл. РАХН. 1997;2:7-9.
- Aruna C., Shrotria P.K., Pahuja S.K., Umakanth A.V., Venkatesh Bhat B., Vishala Devender A., Patil J.V. Fodder yield and quality in forage sorghum: scope for improvement through diverse male sterile cytoplasm. Crop Pasture Sci. 2013;36(12):1114-1123.
- Elkonin L.A., Kozhemyakin V.V., Ishin A.G. Nuclear-cytoplasmic interactions in fertility restoration in sorghum: alternative CMS-inducing cytoplasm. Int. Sorghum Millet Newslett. 1995;36:75-76.
- Elkonin L.A., Kozhemyakin V.V., Ishin A.G. Comparative analysis of restoration of male-sterile (CMS)-inducing cytoplasm A3 and M35-1. Int. Sorghum Millet Newslett. 1997;38:29-30.
- Fasahat P., Rajabi A., Rad J.M., Derera J. Principles and utilization of combining ability in plant breeding. Biom. Biostat. Int. J. 2016;4(1): 1-24. DOI 10.15406/bbij.2016.04.00085.
- Hundekar R., Kamatar M.Y., Brunda S.M., Pattar V. Combining ability analysis for yield and grain mold resistance in kharif sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Int. J. Plant Sci. 2014;9(1):252-256.
- Justin R., Were B., Mgonja M., Santosh D., Abhishek R., Emmarold M., Agustino O., Samuel G. Combining ability of some sorghum lines for dry lands and sub-humid environments of East Africa. Afr. J. Agric. Res. 2015;10(19):2048-2060. DOI 10.5897/AJAR2014.8519.
- Kenga R., Tenkouano A., Gupta S.C., Alabi S.O. Genetic and phenotypic association between yield components in hybrid sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) population. Euphytica. 2006;150(3): 319-326.
- Kumar S., Kumar V., Chand P., Kumar N., Shrotria P.K. Genetic parameters for hydrocyanic acid content in forage sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Int. J. Biotechnol. Bioeng. Res. 2013;4(4): 395-400.
- Mahdy E.E., Ali M.A., Mahmoud A.M. The effect of environment on combining ability and heterosis in grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench). Asian J. Crop Sci. 2011;3(1):1-15. DOI 10.3923/ajcs.2011.1.15.
- Mohammed M.I. Line × tester analysis across locations and year in Sudanese × exotic lines of forage sorghum. J. Plant Breed. Crop. Sci. 2009;1(9):311-319.
- Mohammed R., Are R., Bhavanasi R., Munghate R.S., Kishor K.P.B., Sharma H.C. Quantitative genetic analysis of agronomic and morphological traits in sorghum, *Sorghum bicolor*. Front. Plant Sci. 2015;6:1-17. DOI 10.3389/fpls.2015.00945.
- More A., Kalpande H.V., Aundhekar R.L., Chavan S.K., Patil V.S., Jangampalli S.S. Heterosis and line × tester analysis of combining ability in kharif sorghum with special reference to grain mold (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Agrotechnol. 2014;2:4. DOI. 10.4172/2168-9881.S1.012.
- Patil V.R., Kute N.S. Combining ability studies in grain sorghum. J. Global Biosci. 2015;4(1):1902-1909.
- Reddy B.V.S., Ramesh S., Ortiz R. Genetic and cytoplasmic-nuclear male sterility in Sorghum. Plant Breeding Reviews. Ed. J. Janik. Hoboken, New Jersey: Willey & Sons, Inc. 2005;25:139-169.
- Reddy B.V.S., Ramesh S., Reddy P.S., Kumar A.A. Male-sterility inducing cytoplasmic on combining ability in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Ind. J. Genet. 2009;69(3):199-204.
- Reddy B.V.S., Ramesh S., Reddy P.S., Ramaiah B. Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench]. Euphytica. 2007;154(1): 153-164. DOI 10.1007/s10681-006-9281-6.