

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МУЖСКОЙ СТЕРИЛЬНОСТИ В СЕЛЕКЦИИ СОРГО НА УРОЖАЙНОСТЬ

Н. А. Ковтунова, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

А. Е. Романюкин, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4349-8489;

В. В. Ковтунов, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

Г. М. Ермолина, кандидат сельскохозяйственных наук, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ORCID ID: 0000-0003-0168-5966;

Е. А. Шишова, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской»,
347740, Ростовская обл., г. Зерноград, ул. Научный городок, д. 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Увеличение урожайности многих сельскохозяйственных культур связано с получением гетерозисных гибридных форм, более продуктивных, чем обычные сорта. Для получения гетерозисного эффекта и создания гибридных семян в селекционной практике сорго используется явление цитоплазматической мужской стерильности. Цель работы: изучить новые сорго-суданковые гибриды, созданные на основе ЦМС, и определить гетерозис по основным хозяйственно ценным признакам, оказывающим влияние на урожайность зеленой массы. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве объекта исследований были использованы сорго-суданковые гибриды, изучаемые в конкурсном испытании. Посев и полевые наблюдения проводили по общепринятым методикам. Метеорологические условия в годы исследований (2020–2022 гг.) значительно различались, что позволило провести всестороннюю оценку гибридов в контрастных условиях. Согласно проведенным исследованиям по основным признакам (продолжительность периода «всходы–выметывание», высота растений, длина третьего листа и количество листьев на растении), оказывающим влияние на продуктивность сорго-суданковых гибридов, выявлен высокий гетерозисный эффект. Гибриды, полученные на основе ЦМС, имели урожайность зеленой массы в сумме за два укоса 3557–5949 г/м². Гипотетический гетерозис имел значения от 59,8 до 144,3 %, истинный – 22,1–95,1 %. По урожайности зеленой массы выделились гибриды АПВ-1115 х Кудесница, АПВ-1115 х Светлопленчатая 2, АПВ-1115 х ЧТ-22, Джетта х ЧТ-22, превысившие стандарт на 755–1384 г/м², или на 16,5–30,3 %. Выделенные гибриды подтверждают целесообразность использования цитоплазматической мужской стерильности для получения высокогетерозисного эффекта как по урожайности зеленой массы, так и по основным признакам, влияющим на продуктивность.

Ключевые слова: сорго-суданковый гибрид, зеленая масса, урожайность, гетерозис, цитоплазматическая мужская стерильность, признак.

Для цитирования: Ковтунова Н. А., Романюкин А. Е., Ковтунов В. В., Ермолина Г. М., Шишова Е. А. Использование цитоплазматической мужской стерильности в селекции сорго на урожайность // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15, № 4. С. 14–20. DOI: 10.31367/2079-8725-2023-87-4-14-20.



USE OF CYTOPLASMIC MALE STERILITY IN SORGHUM BREEDING FOR PRODUCTIVITY

N. A. Kovtunova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855;

A. E. Romanyukin, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4349-8489;

V. V. Kovtunov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705;

G. M. Ermolina, Candidate of Agricultural Sciences, technician-researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0003-0168-5966;

E. A. Shishova, Candidate of Agricultural Sciences, junior researcher of the laboratory for forage sorghum breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622
FSBSI Agricultural Research Center "Donskoy",
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok Str., 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

The productivity increase of many agricultural crops is associated with the production of heterotic hybrid forms that are more productive than conventional varieties. In order to obtain a heterotic effect and develop hybrid seeds in sorghum breeding practice, the phenomenon of cytoplasmic male sterility is used. The purpose of the current work

was to study new sorghum-Sudan hybrids developed on the basis of CMS, and to determine heterosis according to the main economically valuable traits that affect green mass productivity. The study was carried out in the Agricultural Research Center "Donskoy" in 2020–2022. The objects of the study were the sorghum-Sudanese hybrids studied in the competitive variety testing. Sowing and field observations were carried out according to generally accepted methods. The meteorological conditions during the years of study (2020–2022) varied significantly, which made it possible to conduct a comprehensive estimation of hybrids in contrasting conditions. According to the study carried out according to the main traits (length of "sprouts-heading stage" period, plant height, length of the 3rd leaf and number of leaves per plant), which affect the productivity of sorghum-Sudan hybrids, there has been established a high heterotic effect. Hybrids developed on the basis of CMS had a green mass productivity of 3557–5949 g/m² for two cuts. Hypothetical heterosis ranged from 59.8 to 144.3 %, true heterosis was 22.1–95.1 %. According to the green mass productivity, the hybrids 'APV-1115 x Kudesnitsa', 'APV-1115 x Svetloplenchataya 2', 'APV-1115 x ChT-22', 'Dzhetta x ChT-22' were the best ones, exceeding the standard on 755–1384 g/m² or by 16.5–30.3 %. The identified hybrids have confirmed the expediency of using cytoplasmic male sterility to obtain a highly heterotic effect both in terms of green mass productivity and in terms of the main traits that affect productivity.

Keywords: sorghum-Sudan hybrid, green mass, productivity, heterosis, cytoplasmic male sterility, trait.

Введение. Создание прочной кормовой базы – одна из главных проблем сельскохозяйственного производства. Решение данной задачи в любой почвенно-климатической зоне зависит от кормовых культур, которые дают высокие и стабильные урожаи с единицы площади при минимальных затратах. В засушливых регионах России, особенно на засоленных почвах, важное значение приобретает возделывание высокоурожайных, засухо- и солеустойчивых культур с хорошей отзывчивостью. К ним относится сорго и его гибриды.

Увеличение урожайности многих сельскохозяйственных культур связано с получением гетерозисных гибридных форм, более продуктивных, чем обычные сорта (Osawa-Martínez et al., 2021). При этом важно получить не только высокую урожайность, но и собрать в этом гибриде как можно больше признаков, отвечающих требованиям сельскохозяйственного производства (Zhang et al., 2023; Beyaz and Kir, 2020). Для получения гетерозисного эффекта и создания гибридных семян в селекционной практике сорго, кукурузы, сахарной свеклы используется явление цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС) (Кибальник, 2019; Капустин и др., 2022). Латинское *sterilis* означает «бесплодный». У растений цитоплазматическая мужская стерильность проявляется в недоразвитии мужских половых клеток и вызывается действием определенных цитоплазматических генов, находящихся в пластидной или митохондриальной ДНК клетки.

Сорго-суданковые гибриды, созданные от скрещивания ЦМС-линий и сортов, линий суданской травы, помимо высокой засухоустойчивости и солевыносливости, по урожайности зеленой массы и сена занимают одно из первых мест среди кормовых культур, имеют высокие кормовые качества (Shkodina et al., 2019; Шишова и др., 2020). Они являются источником зеленого корма и сена. Зеленая масса, убранная до начала выметывания, содержит 14–16 % сырого протеина, в 100 кг ее содержится 18–20 кормовых единиц (Шишова и др., 2020). Гибриды могут быть использованы для приготовления высококачественного силоса, так как опережают в росте и развитии даже скороспелые сорта сахарного сорго.

Согласно исследованиям О.П. Кибальник (2019), С.И. Капустина и др. (2022), Е.А. Вертиковой и В.В. Пыльнева (2021) и других исследователей сорго-суданковые гибриды являются идеальным примером повышения урожайности в результате гетерозисного эффекта.

Цель работы: изучить новые сорго-суданковые гибриды, созданные на основе ЦМС, и определить гетерозис по основным хозяйственно ценным признакам, оказывающим влияние на урожайность зеленой массы.

Материалы и методы исследований. Исследования проводили в 2020–2022 гг. в ФГБНУ «АНЦ «Донской». В качестве объекта исследований использованы сорго-суданковые гибриды, изучаемые в конкурсном испытании. Они созданы в АНЦ «Донской» в результате гибридизации ЦМС-линии сорго сахарного АПВ-1115, ЦМС-линий сорго зернового Деметра и Джетта и перспективных сортов суданской травы. В качестве стандарта был использован гибрид Густолистный (АПВ-1115 x Сочностебельная 2).

Посев и полевые наблюдения проводили по методике Государственного сортоиспытания (1989). Посев осуществляли в оптимальные сроки – 3–10 мая с нормой высева 1,6 млн всхожих семян на 1 га. Способ посева – рядовой. Площадь делянки – 21 м², повторность четырехкратная. Через каждые 10 делянок располагали стандарт Густолистный. Расположение делянок в опыте – систематическое.

Статистический анализ полученных данных проведен по методикам, изложенным Б.А. Доспеховым (2014). Величина гетерозиса (гипотетического ($G_{гип.}$), истинного ($G_{ист.}$) и конкурсного ($G_{конк.}$)) определена по методике Д.С. Омарова (1975).

Почва опытного участка представлена обыкновенным карбонатным черноземом с содержанием гумуса 3,2 % в пахотном слое. По плодородию и физико-химическим свойствам почва опытного участка благоприятна для выращивания сорго.

Метеорологические условия в годы исследований (2020–2022 гг.) значительно различались, что позволило провести всестороннюю оценку гибридов в контрастных условиях. Так, высокая температура воздуха в мае и хорошая увлажненность почвы в 2021 г. способ-

ствовали дружному и быстрому прорастанию семян, а в 2020 и 2022 гг., наоборот, пониженная температура привела к задержке всходов. Отсутствие осадков в июне 2020 и 2022 гг. и среднесуточная температура воздуха выше среднегодовалых данных на 2,6–4,7 °С, или 12,6–22,9 %, привели к сокращению периода «всходы–выметывание» и, следовательно, снижению урожайности зеленой массы за первый укос. В целом за годы исследований средняя температура воздуха в течение вегетации была выше среднегодовой нормы. Наибольшая сумма осадков за период «май–сентябрь» отмечена в 2021 г. (273 мм при норме 268 мм). Значения ГТК указывают на среднюю засуху – в 2020 (0,68), 2022 (0,52) и недостаточное увлажнение – в 2021 году (0,82).

Результаты и их обсуждение. Подбор исходного материала для гибридизации – начальный и один из самых ответственных этапов в селекции растений (Шишова и др., 2020). Для создания сорго-суданковых гибридов в качестве опылителей подбирали перспективные сорта суданской травы, превышающие стандарт по урожайности зеленой массы и относящиеся к среднеранней и среднеспелой группам созревания (49–60 дн.). ЦМС-линии, используемые в наших исследованиях, уступают сортам как по урожайности зеленой массы и сухого вещества, так и по высоте растений (105–145 см), количеству листьев на растении (7–9 шт.) и длине 3-го листа (42–56 см) (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика родительских форм по основным хозяйственно ценным признакам (2020–2022 гг.)
Table 1. Characteristics of parental forms according to the main economically valuable traits (2020–2022)

Признак		Лимиты		Среднее	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
		min	max			
Продолжительность периода «всходы–выметывание», дни	сорт	49	55	52	2	3,9
	линия	50	60	55	5	9,1
Высота растений, см	сорт	181	218	202	10	5,1
	линия	105	145	123	20	16,3
Количество листьев, шт.	сорт	8	10	9	1	7,9
	линия	7	9	8	1	13,9
Длина 3-го листа, см	сорт	60	76	68	6	8,4
	линия	42	56	51	8	15,8
Урожайность зеленой массы, г/м ²	сорт	2388	3380	3072	308	10,0
	линия	1350	2200	1767	425	24,0

Установлено слабое варьирование изученных признаков у сортов ($V = 3,9–10,0\%$). У ЦМС-линий наблюдалось слабое варьирование по продолжительности периода «всходы–выметывание» ($V = 9,1\%$), среднее – по длине ($V = 15,8\%$) и количеству листьев ($V = 13,9\%$), урожайности зеленой массы ($V = 24,0\%$), сильное – по урожайности сухого вещества у сортов ($V = 35,0\%$).

Урожайность зеленой массы – это масса стеблей и листьев с единицы площади. Согласно проведенному ранее корреляционному анализу установлено, что на нее наибольшее влияние оказывают продолжительность вегетационно-

го периода, количество листьев, их размеры и высота растений (Ковтунова и др., 2022).

Полученные гибриды по продолжительности вегетационного периода относятся к среднеранней (50–54 дня – 4 гибрида) и среднеспелой группам созревания (55–60 дней – 9 гибридов). Наибольшие значения признака отмечены у гибридов АПВ-1115 х Светлопленчатая 2 (58 дн.), Джетта х ЧТ-22 (59 дн.), Густолистный (60 дн.). Средне-групповые значения у гибридов с ЦМС-линией АПВ-1115 и Джетта имели близкие значения (57–58 дн.), у гибридов с Деметрой данный период был значительно короче (52 дня) (табл. 2).

Таблица 2. Хозяйственно ценные признаки сорго-суданковых гибридов (2020–2022 гг.)
Table 2. Economically valuable traits of the sorghum-Sudan hybrids (2020–2022)

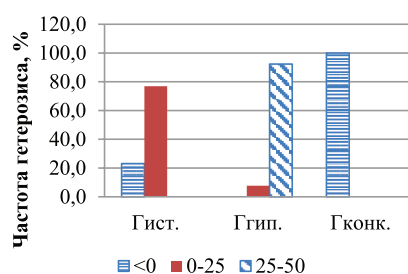
Гибриды	Период «всходы–выметывание», дни	Высота растений, см	Количество листьев, шт.	Длина листа, см	Урожайность зеленой массы, г/м ²
Густолистный, st	60	201	9	62	4565
АПВ-1115 х Кудесница	57	212	11	72	5376
АПВ-1115 х Светлопленчатая 2	58	211	14	68	5949
АПВ-1115 х Светлопленчатая 4	57	219	12	77	4640
АПВ-1115 х Землярина	57	209	11	73	4392
АПВ-1115 х ЧТ-22	56	217	13	75	5320
Деметра х Светлопленчатая 4	54	223	10	76	4389
Деметра х Тополек 576	52	211	10	70	4115
Деметра х Яктик	50	220	10	66	3557
Деметра х ЧСС-2	51	212	10	69	4107

Продолжение табл. 2

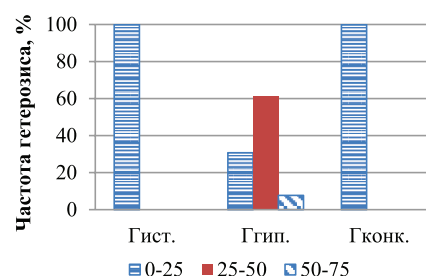
Гибриды	Период «всходы– выметывание», дни	Высота растений, см	Количество листьев, шт.	Длина листа, см	Урожайность зеленой массы, г/м ²
Джетта х ЧСС-2	56	218	10	68	3813
Джетта х Яктик	57	230	10	71	4587
Джетта х ЧТ-22	59	216	12	72	5720
среднее	56	215	11	71	4656
sx	3	7	1	4	703
гибриды с линией АПВ-1115	58	212	12	71	5040
гибриды с линией Деметра	52	217	10	70	4042
гибриды с линией Джетта	57	221	11	70	4707

Гипотетический гетерозис проявился у всех гибридов, гетерозис в интервале 25–50 % отмечен у 92,3 % от общего числа изученных гибридов. Истинный гетерозис отмечен у 77,0 % гиб-

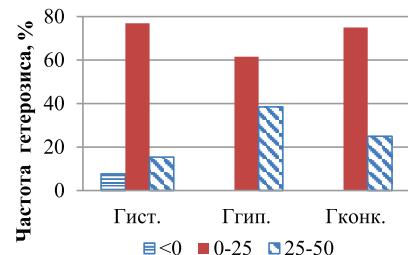
ридов (рис. 1, А). По сравнению со стандартом Густолистный все гибриды созревали быстрее его, конкурсный гетерозис имел отрицательные значения (–1,7...–17,3 %).



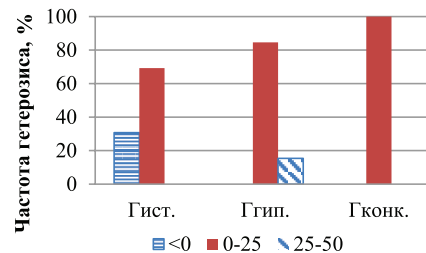
А



Б



В



Г

Рис. 1. Частота проявления гетерозиса у сорго-суданковых гибридов по: А – продолжительности периода «всходы–выметывание», Б – высоте растений, В – количеству листьев на растении, Г – площади 3-го листа (2020–2022 гг.)

Fig. 1. The frequency of heterosis in the sorghum-Sudan hybrids according to:

А – length of the “sprouts–heading stage” period, Б – plant height, В – number of leaves per plant, Г – area of the 3rd leaf (2020–2022)

Для селекционеров наибольший интерес представляют гибриды с отрицательным эффектом гетерозиса по данному показателю. Наименьшая продолжительность вегетационного периода отмечена у гибридов Деметра х Яктик (50 дн., $\Gamma_{\text{конк.}} = -17,2\%$), Деметра х ЧСС-2 (51 дн., $\Gamma_{\text{конк.}} = -15,0\%$), Деметра х Тополек 576 (55 дн., $\Gamma_{\text{конк.}} = -13,3\%$).

Высота растений у гибридов варьировала в интервале 201 (Густолистный) – 230 (Джетта х Яктик). Наибольшее среднерупповое значение отмечено у гибридов с линией Джетта (221 см). По высоте растений абсолютно у всех гибридов наблюдаются высокие значения истинного гетерозиса (в интервале 0–25%) и ги-

потетического (в интервале 25–50 % – у 61,5 % от общего числа гибридов в опыте) (рис. 1, Б). Стандарт Густолистный превысили все гибриды, значения конкурсного гетерозиса варьировали в пределах 10–21 %. Наибольшее превышение над стандартом наблюдалось у гибридов Джетта х Яктик (21,0 %), Деметра х Светлопленчатая 2 (17,4 %), Деметра х Яктик (15,8 %) и АПВ-1115 х Светлопленчатая 2 (15,3 %) и имели высоту растений 219–230 см.

Количество листьев на растении у гибридов значительно различалось – от 9 до 14 шт. Наибольшее среднерупповое значение отмечено в комбинациях, у которых в качестве материнской формы выступила ЦМС-линия

АПВ-1115 (12 шт.). Гетерозис истинный и гипотетический у большинства гибридов имел значения в интервале 0–25 % (76,9 и 61,5 % соответственно) (рис. 1, В). Превысили стандарт и имеют наибольшие абсолютные значения и конкурсный гетерозис гибриды АПВ-1115 х Светлопленчатая 2 (14 л. и 50,5 %), АПВ-1115 х ЧТ-22 (13 л. и 39,8%), АПВ-1115 х Светлопленчатая 4 (12 л. и 27,2 %), Джетта х ЧТ-22 (12 л. и 23,7 %).

Длина листа у гибридов имела значения 62–77 см. У всех гибридов отмечено превышение над средне-родительским значением с преобладанием интервала 0–25 % (84,6 % гибридов) и у 69,2 % – превышение над большим родителем (интервал 0–25 %) (рис. 1, Г). Гибриды АПВ-1115 х Кудесница (72 см), АПВ-1115 х ЧТ-22 (75 см), Деметра х Светлопленчатая 4 (76 см) сформировали наибольшую длину листа и значительно превосходили стандарт ($\Gamma_{\text{конк.}}$ = 23,0–24,2 %).

Повышение урожайности – главная задача селекционеров. Использование эффекта

гетерозиса является основным и самым надежным способом решения данной проблемы. Гетерозис по урожайности наблюдается в различной степени у всех сельскохозяйственных культур (Кривошеев и др., 2020; Костылев и Костылева, 2020). У гибридов второго поколения этого эффекта уже нет.

Гибриды, полученные на основе ЦМС, имели урожайность зеленой массы в сумме за два укоса 3557–5949 г/м². Все гибриды проявили гетерозис, что согласуется с исследованиями С.И. Капустина и др. (2022), N. Kovtunova et al. (2020), О.П. Кибальник (2019), у которых максимальный эффект у сорго наблюдался по урожайности. Гипотетический гетерозис имел значения от 59,8 до 144,3 % (преобладание интервала 75–100 % – у 46,2 % гибридов от общего числа). Превышение над большим родителем (сортом суданской травы) составило 22,1–95,1 %, у 53,8 % значения $\Gamma_{\text{ист.}}$ находились в интервале 25–50 % (рис. 2).

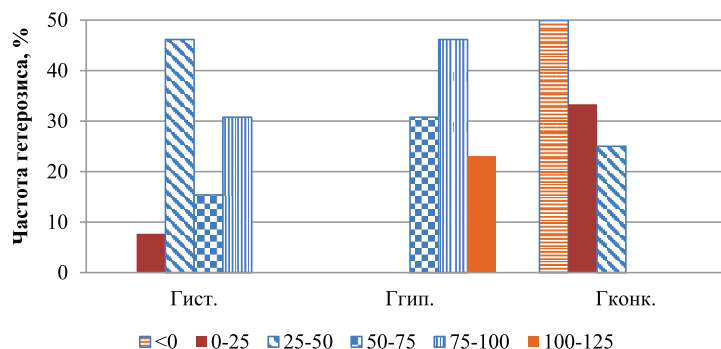


Рис. 2. Частота проявления гетерозиса у сорго-суданковых гибридов по урожайности зеленой массы (2020–2022 гг.)

Fig. 2. The frequency of heterosis in the sorghum-Sudan hybrids according to green mass productivity (2020–2022)

Наибольшие значения гипотетического, истинного и конкурсного гетерозиса отмечены у гибридов АПВ-1115 х Кудесница (92,7; 59,1 и 17,8 %), АПВ-1115 х Светлопленчатая 2 (120,6; 86,8 и 30,3 %), АПВ-1115 х ЧТ-22 (107,3; 81,5 и 16,5 %), Джетта х ЧТ-22 (144,3; 95,1 и 25,3 %). Они превысили стандарт (4565 г/м²) по урожайности зеленой массы

на 755–1384 г/м², или на 16,5–30,3 %. Кроме того, по всем изученным признакам у них отмечено превышение над стандартом Густолистный, кроме продолжительности периода «всходы–выметывание», созревание у них наступает раньше на 1–4 дня. Это подтверждают значения конкурсного гетерозиса (табл. 3).

Таблица 3. Конкурсный гетерозис по основным хозяйственно ценным признакам у перспективных сорго-суданковых гибридов (2020–2022 гг.)

Table 3. Competitive heterosis according to the main economically valuable traits in the promising sorghum-Sudan hybrids (2020–2022)

Гибриды	Период «всходы–выметывание», дни	Высота растений, см	Количество листьев, шт.	Длина листа, см	Урожайность зеленой массы, г/м ²
АПВ-1115 х Кудесница	–4,4	11,75	21,86	15,59	17,77
АПВ-1115 х Светлопленчатая 2	–3,3	10,96	50,54	9,14	30,32
АПВ-1115 х ЧТ-22	–6,7	14,21	39,78	20,97	16,54
Джетта х ЧТ-22	–1,7	13,68	23,66	16,13	25,30

Выводы. Согласно проведенным исследованиям по основным признакам (продолжи-

тельности периода «всходы–выметывание», высота растений, длина 3-го листа и количе-

ство листьев на растении), оказывающим влияние на продуктивность сорго-суданковых гибридов, выявлен высокий гетерозисный эффект. Гибриды, полученные на основе ЦМС, имели урожайность зеленой массы в сумме за два укоса 3557–5949 г/м². Гипотетический гетерозис имел значения от 59,8 до 144,3 %, истинный – 22,1–95,1 %. По урожайности зеленой массы выделились гибриды АПВ-1115

х Кудесница, АПВ-1115 х Светлопленчатая 2, АПВ-1115 х ЧТ-22, Джетта х ЧТ-22, превысившие стандарт на 755–1384 г/м², или на 16,5–30,3 %. Выделенные гибриды подтверждают целесообразность использования цитоплазматической мужской стерильности для получения высокогетерозисного эффекта как по урожайности зеленой массы, так и по основным признакам, влияющим на продуктивность.

Библиографические ссылки

1. Вертикова Е. А., Пыльнев В. В. Использование гетерозиса в селекции сорговых культур для условий Нижнего Поволжья // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2021. № 91. С. 51–57. DOI: 10.21515/1999-1703-91-51-57.
2. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): Учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. М.: Альянс, 2014. 351 с.
3. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Гетерозисная селекция гибридов сорго и суданской травы // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3(31). С. 76–84.
4. Кибальник О. П. Использование эффекта гетерозиса в селекции сорго // Вестник НГАУ. 2019. № 2. С. 15–24. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24.
5. Ковтунова Н. А., Романюкин А. Е., Ковтунов В. В., Кравченко Н. С. Параметры адаптивности и изменчивости урожайности и качества зеленой массы суданской травы // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 6. С. 58–62. DOI: 10.31857/2500-2082-2022/6/58-62.
6. Костылев П. И., Костылева Л. М. Изучение продуктивности гибридов на стерильной основе зернового белозерного сорго // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 4(94). С. 49–52. DOI: 10.23670/IRJ.2020.94.4.008.
7. Кривошеев Г. Я., Шевченко Н. А., Игнатьев А. С. Результаты и перспективы селекции кукурузы в Аграрном научном центре «Донской» // Зерновое хозяйство России. 2020. № 6. С. 32–38. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-72-6-32-38>.
8. Шишова Е. А., Ковтунов В. В., Ковтунова Н. А. Подбор родительских пар и изучение новых сорго-суданковых гибридов // Зерновое хозяйство России. 2020. № 4(70). С. 65–68. doi:10.31367/2079-8725-2020-70-4-65-68.
9. Beyaz R., Kir H. Physio-biochemical analyses in seedlings of sorghum-sudangrass hybrids that are grown under salt stress under in vitro conditions // Turkish Journal of Biochemistr. 2020. Vol. 45, № 2. DOI: 10.1515/tjb-2018-0552.
10. Kovtunova N., Kovtunov V., Popov A., Volodin A., Shishova E., Romanyukin A. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F₁ // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175, Article number: 01012. doi.org/10.1051/e3sconf/202027501012.
11. Osawa-Martínez E., Minjarez B., Rodríguez-Yáñez Y., Reza-Zaldivar E., Canales-Aguirre A., Mena-Munguía S. Comparative proteomic analysis of hybrid maize MR2008 and its parental lines // The Journal of Agricultural Science. 2021. Vol. 159(7–8), P. 570–579. DOI: 10.1017/S0021859621000812.
12. Shkodina E., Balun O., Kapustin S., Volodin A., Kapustin A. Agroecological testing of sugar sorghum, sudanese grass and sorghum-sudanese hybrids in the natural conditions of the Novgorod region // Indo American journal of pharmaceutical science. 2019. Vol. 6, №. 7. P. 13810–13815. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541.
13. Zhang Y., Xinqi F., Du L., Qi G., Xiaojuan Zh., Xiaojuan Zh., Mengen N., Chunhong L., Shan M., Xianggui Zh., Peng X., Wenqi G., Huiyan W., Qingshan L., Yuxiang W. The Identification of a Yield-Related Gene Controlling Multiple Traits Using GWAS in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) // Plants. 2023. Vol. 12, Article number: 1557. DOI: 10.3390/plants12071557.

References

1. Vertikova E.A., Pyl'nev V.V. Ispol'zovanie geterozisa v selektsii sorgovykh kul'tur dlya uslovii Nizhnego Povolzh'ya [Use of heterosis in the breeding of sorghum crops for the conditions of the Lower Volga region] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021. № 91. S. 51–57. DOI: 10.21515/1999-1703-91-51-57.
2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Use of heterosis in the breeding of sorghum crops for the conditions of the Lower Volga region]: Uchebnik dlya vysshikh sel'skokhozyaistvennykh uchebnykh zavedenii. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. Geterozisnaya selektsiya gibridov sorgo i sudanskoi travy [Heterotic breeding of hybrids of sorghum and Sudan grass] // Tavricheskii vestnik agrarnoi nauki. 2022. № 3(31). S. 76–84.
4. Kibal'nik O.P. Ispol'zovanie effekta geterozisa v selektsii sorgo [Use of the effect of heterosis in sorghum breeding] // Vestnik NGAU. 2019. № 2. S. 15–24. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24.
5. Kovtunova N.A., Romanyukin A.E., Kovtunov V.V., Kravchenko N.S. Parametry adaptivnosti i izmenchivosti urozhainosti i kachestva zelenoi massy sudanskoi travy [Parameters of adaptability and variability of productivity and quality of the green mass of Sudan grass] // Vestnik rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki. 2022. № 6. S. 58–62. DOI: 10.31857/2500-2082-2022/6/58-62.
6. Kostylev P.I., Kostyleva L.M. Izuchenie produktivnosti gibridov na steril'noi osnove zernovogo belozernogo sorgo [Study of the hybrids' productivity on a sterile basis of white-grain sorghum] //

Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. 2020. № 4(94). S. 49–52. DOI: 10.23670/IRJ.2020.94.4.008.

7. Krivosheev G. Ya., Shevchenko N.A., Ignat'ev A.S. Rezul'taty i perspektivy selektsii kukuruzy v Agrarnom nauchnom tsentre «Donskoi» [Results and prospects of maize breeding in the Agricultural Research Center “Donskoy”] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 6. S. 32–38. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-72-6-32-38>.

8. Shishova E.A., Kovtunov V.V., Kovtunova N.A. Podbor roditel'skikh par i izuchenie novykh sorgo-sudankovykh gibridov [Selection of parental pairs and study of new sorghum-Sudan hybrids] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2020. № 4(70). S. 65–68. DOI:10.31367/2079-8725-2020-70-4-65-68.

9. Beyaz R., Kir H. Physio-biochemical analyses in seedlings of sorghum-sudangrass hybrids that are grown under salt stress under in vitro conditions // Turkish Journal of Biochemistr. 2020. Vol. 45, № 2. DOI: 10.1515/tjb-2018-0552.

10. Kovtunova N., Kovtunov V., Popov A., Volodin A., Shishova E., Romanyukin A. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F₁ // E3S Web of Conferences. 2020. Vol. 175, Article number: 01012. doi.org/10.1051/e3sconf/202027501012.

11. Osawa-Martínez E., Minjarez B., Rodríguez-Yáñez Y., Reza-Zaldivar E., Canales-Aguirre A., Mena-Munguía S. Comparative proteomic analysis of hybrid maize MR2008 and its parental lines // The Journal of Agricultural Science. 2021. Vol. 159(7–8), P. 570–579. DOI: 10.1017/S0021859621000812.

12. Shkodina E., Balun O., Kapustin S., Volodin A., Kapustin A. Agroecological testing of sugar sorghum, sudanese grass and sorghum-sudanese hybrids in the natural conditions of the Novgorod region // Indo American journal of pharmaceutical science. 2019. Vol. 6, №. 7. P. 13810–13815. DOI: 10.30766/2072-9081.2021.22.4.531-541.

13. Zhang Y., Xinqi F., Du L., Qi G., Xiaojuan Zh., Xiaojuan Zh., Mengen N., Chunhong L., Shan M., Xianggui Zh., Peng X., Wenqi G., Huiyan W., Qingshan L., Yuxiang W. The Identification of a Yield-Related Gene Controlling Multiple Traits Using GWAS in Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) // Plants. 2023. Vol. 12, Article number: 1557. DOI: 10.3390/plants12071557.

Поступила: 29.05.23.23; доработана после рецензирования: 30.06.23; принята к публикации: 30.06.23.

Критерии авторства. Авторы подтверждают, что имеют на статью равные права и несут равную ответственность за плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Авторский вклад. Ковтунова Н.А., Ковтунов В.В. – концептуализация исследований, подготовка рукописи, закладка и выполнение полевых опытов; Романюкин А.Е., Шишова Е.А. – анализ данных, подготовка данных; Ермолина Г.М. – закладка и выполнение полевых опытов, составление и анализ табличного материала.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.