

Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 1 (17). С. 33-42  
Agricultural journal. 2024; 17 (1). P. 33-42

Агрономия, лесное и водное хозяйство

Научная статья  
УДК 633.174: 631.52  
DOI 10.48612/FARC/2687-1254/004.1.17.2024

## **ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИТОПЛАЗМАТИЧЕСКОЙ МУЖСКОЙ СТЕРИЛЬНОСТИ В СЕЛЕКЦИИ СОРГО**

**Сергей Иванович Капустин<sup>1</sup>, Наталья Александровна Багринцева<sup>1</sup>, Аркадий Валерьевич Самойленко<sup>1</sup>, Андрей Сергеевич Капустин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», Россия, г. Михайловск, e-mail: info@fnac.center

<sup>2</sup>Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», Россия, г. Ставрополь, e-mail: info@ncfu.ru

**Аннотация.** Целью исследований является изучение морфо-биологических различий и особенностей строения генеративных органов стерильных форм и восстановителей фертильности, а также уточнение методов и схемы селекции материнского линейного материала сорго с использованием цитоплазматической мужской стерильности. Изучение стерильных линий сорго проводили методами полевых и лабораторных опытов в 2021–2023 годах по утвержденной программе и методике исследований на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», расположенном в г. Михайловске Ставропольского края. Селекционный, гибридный питомник размножения стерильных линий включают образцы, которые по реакции на цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС) считаются закрепителями стерильности. Объектом изучения стали восемь стерильных и восемь фертильных закрепителей стерильности линий сорго. Максимальная урожайность зерна в среднем за 2021–2023 гг. установлена у линий Княжна (3,7 т/га), Зерста 90с (3,4 т/га), А 63 (3,3 т/га) и А 3615 (3,12 т/га). Самые высокие значения содержания сахара в соке стеблей получены у Коричневозерное С (15,4 %), Ставропольское 63 (15,7 %), В 3622 (15,2 %), В 1012 (14,9 %), Зерста 90 (14,2 %), Зерста 38 В (14,1 %). Закрепители стерильности имеют более высокое (на 0,6–3,3 %) наличие сахара в соке стеблей, чем у стерильных форм. Линии Зерста 38А, А 3615, А 3622, Зерста 90с, Л 325, Зерста 97, К 8921, К 8923, Л 662 выступают донорами по скороспелости. Стерильная линия А 3622 служит донором по увеличению урожайности и высоты гибридных растений. Увеличение урожайности зерна и зеленой массы также обеспечивают линии Зерста 38А, Зерста 90с, А 3615, А 3529, Коричневозерное С, Л 596, К 3721.

**Ключевые слова:** сорго, стерильная линия, закрепитель стерильности, насыщающее скрещивание.

**Для цитирования:** Капустин С.И., Багринцева Н.А., Самойленко А.В., Капустин А.С. Особенности использования цитоплазматической мужской стерильности в селекции сорго // Сельскохозяйственный журнал. 2024. № 1 (17). С. 33-42.

DOI 10.48612/FARC/2687-1254/004.1.17.2024

Original article

**SPECIAL ASPECTS OF THE USE OF CYTOPLASMIC MALE STERILITY  
IN SORGHUM SELECTIVE BREEDING****Sergei I. Kapustin<sup>1</sup>, Natalia A. Bagrintseva<sup>1</sup>, Arkadii V. Samoilenko<sup>1</sup>,  
Andrei S. Kapustin<sup>2</sup>**<sup>1</sup>FSBSI “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre”, Russia, Mikhailovsk, e-mail: info@fnac.center<sup>2</sup>FSAEI HE “North Caucasus Federal University”, Russia, Stavropol, e-mail: info@ncfu.ru

**Abstract.** The purpose of the research is to study the morphobiological differences and structural features of the generative organs of sterile forms and fertility restorers, as well as to clarify the methods and selection scheme for maternal linear material of sorghum with the use of cytoplasmic male sterility. The study of sterile sorghum lines was carried out using field and laboratory experiments in 2021-2023 according to the approved program and research method on the experimental field and laboratory facilities of “North Caucasus Federal Agricultural Research Centre” in Mikhailovsk, Stavropol Territory. Plant-breeding, hybrid nurseries of sterile lines include specimens, which by reaction to cytoplasmic male sterility (CMS), are considered as sterility maintenance lines. The object of the study was 8 sterile and 8 fertile sterility maintenance sorghum lines. Average maximum grain yield for 2021-2023 was determined in the lines Kniazhna (3.7 t/ha), Zersta 90s (3.4 t/ha), A 63 (3.3 t/ha) and A 3615 (3.12 t/ha). The highest values of sugar content in the juice of the stems were obtained from Korichnevozernoe S (15.4%), Stavropolskoe 63 (15.7%), V 3622 (15.2%), V 1012 (14.9%), Zersta 90 (14.2%), Zersta 38V (14.1%). Sterility maintenance lines have higher sugar content in the juice of the stems than in sterile forms (0.6–3.3%). The lines Zersta 38A, A 3615, A 3622, Zersta 90s, L 325, Zersta 97, K 8921, K 8923, L 662 are donors for early ripening. Sterile line A 3622 is a donor for increasing the yield and height of hybrid plants. An increase in grain yield and herbage is also provided by the lines Zersta 38A, Zersta 90s, A 3615, A 3529, Korichnevozernoe S, L 596, K 3721.

**Keywords:** sorghum, sterile line, sterility maintenance line, recurrent backcrossing.

**For citation:** Kapustin S.I., Bagrintseva N.A., Samoilenko A.V., Kapustin A.S. Special aspects of the use of cytoplasmic male sterility in sorghum selective breeding // Agricultural journal. 2024; 17 (1). P. 33-42. DOI 10.48612/FARC/2687-1254/004.1.17.2024

**Введение.** Использование цитоплазматической мужской стерильности в семеноводстве гибридного сорго получило признание как наиболее дешевого способа получения гибридных семян в условиях производства [1]. При нем полностью исключается скрещивание между материнскими растениями [2]. С целью получения гибридных семян нужны как линии-восстановители фертильности, так и закрепители стерильности пыльцы. Последние необходимы для того, чтобы создавать стерильные аналоги, которые будут использованы в простых гибридах в качестве материнских форм [3].

В результате нарушения окислительно-восстановительных процессов в цитоплазме пыльцевых зерен происходит обеднение их крахмалом и жирами, изменяется состав и количество аминокислот, пластид и хондрисом. У стерильных форм происходит существенное отклонение от нормы в пыльниках количественного содержания сво-

бодных аминокислот; у насыщаемых линий – резкое изменение морфологических признаков метелки, дегенерация пыльников, в результате чего они становятся бледными, уменьшаются в размере и не содержат пыльцы. Эти изменения сохраняются в последующих поколениях. Ряд литературных источников указывает на одинаковое прохождение начальных фаз развития пыльцы как у стерильного, так и у фертильного аналогов [1, 4]. Дегенерация пыльцы у стерильных форм наступает после мейоза, при переходе к спермогенезу, и последний не осуществляется. Установлены отчетливые различия в строении экзипы пыльцы у стерильных и фертильных форм. Экзина пыльцы фертильных растений имеет гладкую поверхность, а экзина пыльцы стерильных растений – сетчатую. Цитоплазма у стерильных форм малозернистая, жидкая и располагается лишь по стенкам пыльцевого зерна сравнительно тонким слоем. Она содержит небольшое количество запасных питательных веществ, поэтому не окрашивается ацетокармином и кажется при просмотре под микроскопом пустой. Цитоплазма фертильных форм густая, без вакуолей, зернистая, богатая пластидами и запасными питательными веществами. Стерильность пыльцы обуславливается дегенерацией ядра и цитоплазмы, резким уменьшением запасных веществ.

Прежде чем использовать образцы в селекции сорго, их изучают по реакции на ЦМС по способности закреплять стерильность пыльцы в гибриде или восстанавливать фертильность [5, 6]. Самое значительное увеличение продуктивности происходит у межвидовых гибридов, полученных от генетически отдаленных видов сорго [7, 8]. Образцы кафрского сорго, показывающие хорошую способность закреплять стерильность, целесообразно применять для выведения материнских линий (стерильных аналогов). Образцы китайского, негритянского, хлебного, травянистого или гвинейского видов сорго лучше использовать для получения отцовских форм стерильных гибридов.

Установлена разница в содержании аминокислот. Количество аланина в стерильных пыльниках в 2-3 раза выше, чем в фертильных. На более поздних стадиях развития пыльцы наблюдается также различие в содержании пролина и аспаргина, причем пролин фактически присутствует только в фертильных пыльниках. Пыльцевые зерна у стерильных форм имеют мало пластид и хондрисом, обеднены другими аминокислотами, гетероауксинами и жирами [6, 9]. У большинства культур, где обнаружена ЦМС, стерильность при соответствующей цитоплазме обеспечивается рецессивными аллелями генов, а восстановление – доминантными. В проявлении свойств стерильности и фертильности участвуют гены модификаторы, обнаруживающиеся под влиянием условий выращивания.

В первый год насыщающего скрещивания наблюдается проявление гетерозиса по большинству морфологических признаков. На втором и третьем году насыщения стерильностью наблюдаются постепенное снижение гетерозиса и приближение изучаемых признаков к отцовской форме. В каждом поколении от насыщающих скрещиваний материнские признаки постепенно ослабевают. Иначе наследуется ЦМС, которой обладает материнская форма. Уже в первый год стерильность наследуется на 100 %. У насыщаемых линий происходит резкое изменение морфологических признаков метелки, дегенерация пыльников – они не содержат пыльцы. Эти изменения сохраняются и в последующих поколениях. Исключения составляют отдельные формы, образующие стерильную пыльцу. Фертильные аналоги могут иметь незначительное (от 0,8 до 10,4 %) количество стерильных зерен [10, 11, 12].

Размер частей цветка стерильных растений существенно не отличается от фертильных, за исключением пыльников, имеющих существенные различия. Как у стерильных линий, так и у их фертильных аналогов пыльники полностью выходят из раскрывшихся цветков и имеют бледную или другую окраску у стерильных растений и

желтую или ярко желтую – у фертильных. Пыльники у стерильных растений недоразвитые, игловидные и всегда закрытые. При встряхивании цветущих метелок стерильные растения не пылят и под пергаментными изоляторами семян не завязывают.

Пыльники фертильных растений нормально развиты, на конце пыльника расположена хорошо заметная пора, из которой при созревании высыпается пыльца. При встряхивании цветущих метелок растений в воздухе образуется заметное облачко пыльцы, под пергаментными изоляторами завязываются семена. Надежными критериями для причисления сорго к стерильным или фертильным формам являются характеристика пыльников, их форма и размер. По числу надземных узлов, по длине метелки, ее выдвинутости, ширине листа стерильные линии уступают фертильным аналогам, а по толщине верхней части стебля значительной разницы не наблюдается.

Длительный период восприимчивости к пыльце стерильных линий сорго очень желателен, так как цветение отцовских форм часто не совпадает с цветением материнских. Важно знать ее продолжительность у стерильных линий, являющихся материнскими формами, что облегчает подбор родительских пар. Продолжительность жизнеспособности рылец стерильной линии сорго определяется по завязыванию семян при опылении разновозрастных рылец свежесобранной пыльцой. Для полного цветения стерильных метелок, как и метелок обычного фертильного типа, требуется 6–9 дней.

**Цель исследований** – изучение морфобиологических различий и особенностей строения генеративных органов стерильных форм и восстановителей фертильности, а также уточнение методов и схемы селекции материнского линейного материала сорго с использованием цитоплазматической мужской стерильности.

**Материал и методы исследований.** В 2021–2023 годах изучение стерильных линий сорго выполняли на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказского ФНАЦ», расположенном в г. Михайловске Ставропольского края. Почвенный покров опытного поля представлен типичным, среднесуглинистым, мицеллярно-карбонатным черноземом с глубиной гумусового горизонта 100–120 см. Содержание гумуса в пахотном слое – 3,2 %.

Погодные условия в течение вегетационного периода 2021 года определялись теплым климатическим фоном. В июле – сентябре средняя суточная температура воздуха была выше средних значений на 1,9 °С. В 2022 и 2023 годах условия благоприятствовали росту и развитию сорго. Средняя суточная температура воздуха за период с мая по октябрь 2022 года составила 18,3 °С, а в 2023 году – 18,9 °С, по сравнению с долгосрочными средними значениями 18,4 °С. Количество осадков за это время составило соответственно 415,5 мм в 2022 году и 396 мм – в 2023 году, в то время как многолетние средние значения насчитывали 355 мм.

Исследования проводили методом полевых и лабораторных опытов. Материалом изучения стали восемь стерильных и восемь фертильных закрепителей стерильности линий сорго. Морфобиологические учеты, фенологические наблюдения осуществляли в соответствии с методикой оценки и наблюдений широкого унифицированного классификатора СЭВ [13], методикой государственной комиссии по сортоиспытанию [14]. Результаты исследований обрабатывали методом дисперсионного анализа по методике Доспехова Б.А. [15].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Питомник стерильных линий содержит образцы-закрепители стерильности по реакции на ЦМС. Создание аналогов восстановителей фертильности, а также стерильных аналогов основано на передаче ЦМС вариантам-закрепителям стерильности методом насыщающих скрещиваний с отбором для данных опылителей стерильных типичных растений. Формирование гетерозисных гибридов F1 зависит от генетических особенностей исходных форм. При выбо-

ре пар для скрещивания необходимо знать комбинаторный потенциал и закономерности передачи селекционных признаков материнских форм. Результаты исследования стерильных линий сорго, созданных ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», представлены в данной статье.

Авторами Вахопским Э.К., Багринцевой Н.А. и Володиным А.Б. разработана стерильная линия Зерста 90с, полученная через скрещивание стерильной линии зернового сорго А 823 с закрепителем стерильности Зерста 90ф, созданного из сортов Скороспелое 89 и Сарваши.

Линия Зерста 38А, выведенная теми же авторами, получена методом насыщающих скрещиваний линии А 803 с закрепителем стерильности Л 320/63 и закрепителем стерильности 4338/83, отобранным из сорта Надежда Ставрополя.

Стерильная линия А 3615, выведенная авторами Вахопским Э.К. и Багринцевой Н.А., создана методом скрещиваний стерильной линии Зерста 38А с закрепителем стерильности Л 3615/2001, полученным из сорта зернового сорго Надежда Ставрополя.

Линии Княжна и А 3529 также созданы с использованием метода насыщающих скрещиваний стерильных линий зернового сорго. Линия Княжна путем насыщающих скрещиваний Зерста 38А закрепителем 3622/90, полученного из сорта Надежда Ставрополя путем отбора и самоопыления, а линия А 3529 – путем насыщающих скрещиваний А 771 закрепителем стерильности Л 3529/2001, полученного из гибридной популяции от скрещивания сортов зернового сорго Скороспелое 89 и Сарваши путем отбора и самоопыления.

Стерильная линия сахарного сорго А 63, авторы которого – Жукова М.П. и Вахопский Э.К., получена путем отбора элитного растения из сорта сахарного сорго Ставропольское 63 и последующего топкросса.

Линия А 1012, разработанная Вахопским Э.К. и Багринцевой Н.А., также выведена методом насыщающего скрещивания стерильной линии Зерста 38А закрепителем стерильности Л1012/2001, полученным путем многократного самоопыления и отбора.

Стерильная линия Коричневозерное С (авторы Вахопский Э.К., Багринцева Н.А.) выведена на основе стерильной линии Зерста 90с с последующим насыщающим скрещиванием закрепителем стерильности К 3891/2001, с последующим отбором до хорошей выравненности.

В таблицах 1 и 2 представлена морфобиологическая характеристика восьми изучаемых нами стерильных линий и восьми закрепителей стерильности. Густоту растений формировали при ручной прорывке всходов. В селекционном питомнике осуществляли по 20 скрещиваний стерильных линий с закрепителями стерильности этих линий. С целью размножения семян на восьми закрепителях стерильности выполнено по 10–15 самоопылений.

В среднем за 2021–2023 годы наиболее высокорослыми стерильными линиями стали Княжна (182 см) и Зерста 90с (177 см), среднерослыми – А 63 (139 см), Коричневозерное С (136 см) и А 1012 (136 см). Наименьшие значения высоты растений получены у Зерста 38А (121 см), А 3529 (132 см) и А 3615 (128 см). Самые значительные показатели длины метелок (24,5–32,7 см) получены у линий Зерста 38А, Княжна, А 3529, А 3615 и Коричневозерное С.

Линии Коричневозерное С, А 1012, Зерста 90с и Зерста 38А показали высокие значения выдвинутости метелок из раструба верхнего листа с диапазоном от 10,4 до 16,2 см, в то время как у остальных наблюдаемых линий данный показатель составлял от 0,5 до 4,2 см. Самые существенные значения длины листа, от 73 до 75 см, получены у линий А 3615, Княжна и Зерста 90с.

Таблица 1

Хозяйственно-биологические свойства стерильных линий сорго и их аналогов-закрепителей стерильности (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 1

Economic and biological properties of sterile sorghum lines and their sterility maintenance analogues (average for 2021–2023)

Название линии	♀/♂	Продолжительность периода, дней		Высота растений, см		Полетание растений, %	Масса 1 000 зерен, г	Содержание в зерне белка, %	Содержание сахара в соке стеблей, %
		всходы-цветение	всходы-полная спелость	на 30-й день вегетации	в фазе спелости				
А 63	♀	68	103	67	139	0	25,3	6,38	15,2
Ставропольское 63	♀	–	–	67	138	0	–	–	15,7
Княжна	♀	64	96	63	182	18	24,2	7,24	14,1
В 3622	♀	–	–	67	184	16	–	–	15,2
Зерста 38А	♀	67	98	70	121	4	25,8	9,43	13,5
Зерста 38В	♀	–	–	67	120	4	–	–	14,1
Зерста 90с	♀	69	101	75	177	0	26,8	9,37	13,6
Зерста 90	♀	–	–	76	176	2	–	–	14,2
А 3615	♀	65	97	71	128	0	24,0	7,44	12,7
В 3615	♀	–	–	68	129	0	–	–	13,5
А 1012	♀	63	97	55	136	2	25,9	8,76	13,6
В 1012	♀	–	–	60	135	2	–	–	14,9
А 3529	♀	66	98	66	132	3	23,5	9,95	13,5
В 3529	♀	–	–	64	133	2	–	–	13,2
Коричневозерное С	♀	66	99	61	136	0	22,6	9,34	12,1
Коричневозерное Ф	♀	–	–	62	137	0	–	–	15,4

Примечание: ♀ – стерильная форма, ♂ – фертильная форма.

Таблица 2

Ботанические и морфологические показатели стерильных линий сорго (среднее за 2021–2023 гг.)

Table 2

Botanical and morphological characteristics of sterile sorghum lines (average for 2021–2023)

Линия	Метелка		Лист			Толщина стебля, см	Урожайность зеленой массы			Урожайность зерна, т/га	Уборочная влажность зерна, %	Снижение влажностности зерна за сутки, %		
	длина, см	выдвинутость, см	количество, шт.	длина, см	ширина, см		всего, т/га	в том числе, %				начало созревания	конец созревания	
								стеблей	метелок с зерном					листьев
А 63	22,1	0,5	9	64	7,6	1,65	28,1	56,2	24,6	19,2	3,31	24,0	-	0,3
Княжна	28,6	4,2	8	75	7,3	1,41	26,7	62,5	20,7	16,8	3,71	17,0	0,3	0,2
Зерста 38А	32,7	10,4	10	70	7,6	1,70	16,8	48,3	31,5	20,2	3,02	24,4	0,2	0,4
Зерста 90	22,1	11,8	9	73	6,7	1,69	30,1	60,4	20,4	19,2	3,41	23,3	0,7	0,5
А 3615	24,5	4,1	7	75	6,0	1,49	17,9	48,9	35,8	15,3	3,12	19,0	0,4	0,2
А 1012	22,8	14,1	7	62	6,1	1,36	17,1	54,9	27,4	17,7	2,94	19,7	0,7	0,5
А 3529	25,6	1,1	9	69	7,1	1,67	17,3	46,7	33,8	19,5	2,84	15,7	0,9	0,5
Коричневозерное С	24,6	16,2	8	69	7,2	1,62	18,6	57,6	24,2	18,2	2,91	15,2	0,4	0,8
НСР <sub>05, т/га</sub>							0,8				0,19			

Наибольший урожай зеленой массы, составивший 30,1 т/га, 26,6 т/га и 28,1 т/га соответственно, достигнут у линий Зерста 90с, Княжна и А 63. Остальные формы показали урожайность в диапазоне 16,8–18,6 т/га. При анализе процентного содержания стеблей, метелок и листьев в общей зеленой массе установлено, что Зерста 90с и Княжна обладали наибольшим количеством стеблей (60,4–62,5 %). Содержание метелок у линий А 3615, А 3529 и Зерста 38А колебалось от 31,5 до 35,8 %. У остальных линий процентное содержание метелок в зеленой массе было значительно ниже, в пределах 20,7–27,4 %. Содержание листьев оказалось наибольшим у Зерста 38А, А 3529, А 63 и Зерста 90с – 20,2 %, 19,5 %, 19,2 % и 19,2 % соответственно. Линии А 3529, Зерста 90с, Коричневозерное С и Зерста 38А показали содержание белка в зерне сорго свыше 9 %.

Урожайность стерильной материнской формы определяет рентабельность семеноводства гибрида. Самый высокий урожай зерна в изучаемые годы наблюдался у линий Княжна (3,71 т/га), Зерста 90с (3,41 т/га), А 63 (3,3 т/га) и А 3615 (3,12 т/га). Максимальные значения массы 1 000 зерен соответствовали линиям А 63 (25,3 г), А 1012 (25,9 г), Зерста 90с (26,8 г) и Зерста 38А (25,8 г). Самые низкие значения уборочной влажности зерна обнаружены у линий Княжна (17,0 %), А 3529 (15,7 %) и Коричневозерное С (15,2 %). При анализе суточного снижения влажности установлено, что у А 1012 и Зерста 90с в начале созревания данный показатель был выше и доходил до 0,7 %, а у А 3529 – до 0,9 %.

Из приведенных выше данных можно заключить, что изучаемые стерильные линии обладают значительным разнообразием важных хозяйственных признаков, что делает их интересным исходным материалом для создания гибридов сорго сахарного, зернового и сорго-суданковых комбинаций.

Исходя из содержания сахара в стерильных линиях, габитуса растений, массы 1 000 зерен, скорости отдачи влаги зерном при созревании для создания гибридов F1 сахарного сорго и сорго-суданковых комбинаций в наибольшей степени подходит линия А 63, но так как эта линия имеет мелкое, бурое зерно, то для создания зерновых гибридов она не совсем пригодна. Стерильная линия Коричневозерное С имеет также мелкое зерно, поэтому ее целесообразнее использовать для получения сахарных (силосных) гибридов сорго.

Линия Зерста 38А обладает крупным белым зерном. Несмотря на низкие показатели высоты, эта линия при удачном комбинировании с отцовскими формами обеспечивает высокий уровень гетерозиса по высоте растений и ее используют в скрещиваниях для создания сахарных и зерновых гибридов.

Стерильная линия Зерста 90с широко используется в гибридах, допущенных к использованию в настоящее время. Она пригодна для создания силосных, зерновых и сорго-суданковых комбинаций. Линию Княжна целесообразнее применять для селекции гибридов сахарного сорго, а также зернового и сорго-суданковых комбинаций.

Стерильные линии А 1012 и А 3529 характеризуют сравнительно крупное зерно, поэтому их лучше использовать для создания гибридов зернового направления, но они вполне подходят и для создания сахарных комбинаций и сорго-суданковых гибридов. Линия А 3615 также имеет крупное зерно и обеспечивает высокий уровень гетерозиса при создании зерновых и сахарных гибридов. Она пригодна и для получения сорго-суданковых комбинаций.

Значения содержания сахара в соке стеблей (9–20 октября 2021–2023 гг.) позволяют сделать заключение о том, что закрепители стерильности имеют более высокое наличие сахара в соке стеблей, чем стерильные формы. Закрепители стерильности чаще встречаются в природных условиях, особенно у кафрских форм, и создание (перевод на стерильную основу линий путем насыщающих скрещиваний, то есть стабилизация их

генома, способствует уменьшению содержания сахара в стерильных линиях: на 1,1 % – у линии Княжна; на 0,6 % – у Зерста 38А; на 0,6 % – у Зерста 90с; на 0,8 % – у А 3615; на 1,3 % – у А 1012; на 3,3 % – у Коричневозерное С соответственно.

Максимальные значения содержания сахара в соке стеблей получены у линий Коричневозерное Ф (15,4 %), Ставропольское 63 (15,7 %), В 3622 (15,2 %), В 1012 (14,9 %), Зерста 90ф (14,2 %), Зерста 38В (14,1 %).

**Заключение.** Изучаемые стерильные линии обладают значительным разнообразием по основным хозяйственно ценным признакам, поэтому они представляют интерес как исходный материал для селекции сорговых культур.

Лучший урожай зеленой массы получен от линий Зерста 90с, Княжна и А 63. Наиболее высокие показатели продуктивности зерна за последние три года отмечены у линий Княжна, Зерста 90с, А 63 и А 3615. Наименьшая влажность зерна наблюдалась у линий Княжна, Коричневозерное С и А 3529.

Максимальные значения содержания сахара в соке стеблей получены у линий Коричневозерное Ф (15,4 %), Ставропольское 63 (15,7 %), В 3622 (15,2 %), В 1012 (14,9 %), Зерста 90 (14,2 %), Зерста 38В (14,0 %).

#### Список источников

1. Кулинцев В.В., Капустин С.И., Володин А.Б., Капустин А.С., Паньков Ю.И. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур на семена. Ставрополь: ВНИИОК, 2019. 128 с.
2. Кибальник О.П. Влияние типа стерильной цитоплазмы на проявление истинного гетерозиса у гибридов F1 сахарного сорго // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 5 (103). С. 63–69. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-63-69>
3. Канукова К.Р., Боготова З.И., Газаев И.Х., Аппаев С.П. Цитоплазматическая мужская стерильность. Гены-восстановители у кукурузы // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2020. № 4 (96). С. 40–48. <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-4-96-40-48>
4. Кибальник О.П., Ларина Т.В., Каменева О.Б., Семин Д.С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности // Труды по прикладной ботанике и селекции. 2021. № 182 (4). С. 9–17. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17>
5. Ковтунова Н.А., Романюкин А.Е., Ковтунов В.В., Ермрлина Г.М., Шишова Е.А. Использование цитоплазматической мужской стерильности в селекции сорго на урожайность // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 4. С. 14–20. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-87-4-14-20>
6. 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). С. 651–656. <https://doi.org/10.18699/vj17.282>
7. Сухенко Н.Н., Ковтунов В.В. Изучение эффекта гетерозиса морфо-биологических признаков гибридов F1 сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2023. Т. 15. № 5. С. 5–11. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-88-5-5-11>
8. Алабушев А.В., Анипенко Л.Н., Гурский Н.Т., Коломиец Н.Я., Костылев П.И., Мангуш П.А., Алабушева О.И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2003. 364 с.
9. Kapustin S., Volodin A., Kapustin A., Samokish N. Feed Quality of New Sudan Grass Varieties // Journal of Agriculture and Nature. 2022. Volume 25. Issue 2. P. 400–405. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.916295>
10. Кибальник О.П. Комбинационная способность компонентов скрещиваний гибридов



F1 сахарного сорго по урожайности биомассы // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3. С. 11–18. [https://doi.org/10.55170/19973225\\_2023\\_8\\_3\\_11](https://doi.org/10.55170/19973225_2023_8_3_11)

11. Капустин С.И., Володин А.Б., Капустин А.С. Новый сорго-суданковый гибрид Гвардеец // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 3 (27). С. 75–83. <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-3-27-75-83>

12. Ringo J., Onkware A., Mgonja M. Heterosis for yield and its components in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) hybrids in dry lands and sub-humid environments of East Africa // Australian Journal of Crop Science. 2015. Volume 9. Issue 1. P. 9–13.

13. Якушевский Е.С., Варадинов С.Г., Корнейчук В.А., Баня Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench. Л.: ВИР, 1982. 34 с.

14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск первый. Общая часть. Москва, 2019. 329 с.

15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Книга по требованию. 2013. 349 с.

#### **References**

1. Kulintsev V.V., Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S., Pankov Yu.I. Cultivation of sorghum and annual forage crops for seeds. Stavropol: All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding, 2019. 128 p. (In Russ.).

2. Kibalnik O.P. Influence of the type of sterile cytoplasm on the manifestation of true heterosis in F1 hybrids of sweet sorghum // Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2023; 5(103): 63-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-103-5-63-69>

3. Kanukova K.R., Bogotova Z.I., Gazaev I.Kh., Appaev S.P. Cytoplasmic male sterility. Restorer genes in corn // News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2020; 4(96): 40-48. (In Russ.). <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2020-4-96-40-48>

4. Kibalnik O.P., Larina T.V., Kameneva O.B., Semin D.S. Assessment of drought resistance of sorghum CMS lines based on various sources of sterility // Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021; 182(4): 9-17. (In Russ.). <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17>

5. Kovtunova N.A., Romaniukin A.E., Kovtunov V.V., Ermolina G.M., Shishova E.A. Use of cytoplasmic male sterility in the selective breeding of sorghum for yield // Grain Economy of Russia. 2023; 15(4): 14-20. (In Russ.). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-87-4-14-20>

6. Kibalnik O.P. Combination ability of CMS lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35-1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017; 21(6): 651-656. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/vj17.282>

7. Sukhenko N.N., Kovtunov V.V. Study of the effect of heterosis of morpho-biological characteristics of grain sorghum F1 hybrids // Grain Economy of Russia. 2023; 15(5): 5-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-88-5-5-11>

8. Alabushev A.B., Anipenko L.N., Gurskii N.T., Kolomiets N.Ya., Kostylev P.I., Mangush P.A., Alabusheva O.I. Sorghum (breeding, seed production, technology, economics). Rostov-on-Don: ZAO Kniga, 2003. 364 p. (In Russ.).

9. Kapustin S., Volodin A., Kapustin A., Samokish N. Feed Quality of New Sudan Grass Varieties // Journal of Agriculture and Nature. 2022; 25(2): 400-405. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdog.vi.916295>

10. Kibalnik O.P. Combination ability of crossbreeding components of F1 hybrids of sweet sorghum by biomass yield // Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2023; 3: 11-18. (In Russ.). [https://doi.org/10.55170/19973225\\_2023\\_8\\_3\\_11](https://doi.org/10.55170/19973225_2023_8_3_11)

11. Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S. New Sorghum-Sudan hybrid Gvardeets // Tauride Bulletin of Agrarian Science. 2021; 3(27): 75-83. (In Russ.). <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2021-3-27-75-83>

12. Ringo J., Onkware A., Mgonja M. Heterosis for yield and its components in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench.) hybrids in dry lands and sub-humid environments of East Africa // Australian Journal of Crop Science. 2015; 9(1): 9-13.
13. Yakushevskii E.S., Varadinov S.G., Korneichuk V.A., Baniai L. Wide unified CMEA classifier and international CMEA classifier of cultivated species of the genus *Sorghum* Moench. L.: All-Russian Research Institute of Plant Industry, 1982. 34 p. (In Russ.).
14. Methodology for state variety testing of agricultural crops. First issue. General part. Moscow, 2019. 329 p. (In Russ.).
15. Dospikhov B.A. Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Print On Demand. 2013. 349 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Сергей Иванович Капустин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, тел.: +7 (988) 678-98-57, e-mail: info@fnac.center, ORCID: 0000-0002-3389-0340

Наталья Александровна Багринцева, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства сорго, тел.: +7 (962) 403-76-52, e-mail: lab.sorgo@fnac.center, ORCID: 0000-0002-3291-8778

Аркадий Валерьевич Самойленко, аспирант лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, тел.: +7 (988) 102-60-65, e-mail: sd@fnac.center

Андрей Сергеевич Капустин, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники, физиологии и биохимии растений, тел.: +7 (906) 411-80-17, e-mail: hpplus@bk.ru, ORCID: 0000-0001-7857-5988

Information about the authors

S.I. Kapustin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Sorghum, tel.: +7 (988) 678-98-57, e-mail: info@fnac.center, ORCID: 0000-0002-3389-0340.

N.A. Bagrintseva, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Sorghum, tel.: +7 (962) 403-76-52, e-mail: lab.sorgo@fnac.center, ORCID: 0000-0002-3291-8778.

A.V. Samoilenko, Postgraduate Student of the Laboratory of Breeding and Primary Seed Production of Sorghum, tel.: +7 (988) 102-60-65, e-mail: sd@fnac.center

A.S. Kapustin, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Botany, Physiology and Biochemistry of Plants, tel.: +7 (906) 411-80-17, e-mail: hpplus@bk.ru, ORCID: 0000-0001-7857-5988.

**Вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Authors' contribution:** All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 28.02.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024; принята к публикации 15.03.2024.

The article was submitted 28.02.2024; approved after reviewing 10.03.2024; accepted for publication 15.03.2024.

---

© Капустин С.И., Багринцева Н.А., Самойленко А.В., Капустин А.С., 2024