

DOI 10.33952/2542-0720-2021-1-25-64-72

УДК 633.74.1:631.521.5

Володин А. Б.¹, Капустин С. И.^{1,3}, Капустин А. С.²

СХЕМА СЕЛЕКЦИИ И УРОВЕНЬ ГЕТЕРОЗИСА ГИБРИДОВ СОРГО САХАРНОГО

¹ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»;

²ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»;

³ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»

Реферат. Создание и внедрение новых гибридов сорго сахарного (*Sorghum saccharatum Pers.*), адаптированных к засушливым условиям, позволяет стабилизировать и увеличить продуктивность кормовой массы по годам, что является актуальной задачей кормопроизводства. Цель исследований – уточнение схемы и методов селекции исходного материала, оценка уровня истинного гетерозиса, количественных признаков урожайности зеленой массы и высоты растений у лучших полученных гибридов сахарного сорго. Исследование проводили в 2016–2019 гг. методами лабораторных и полевых опытов. Схема селекционного процесса включала питомники исходного материала, селекционный питомник, создание самоопылённых и стерильных линий, гибридизации, оценки образцов на ЦМС, комбинационную способность, а также испытание новых гибридов методами насыщающих скрещиваний и топкросса. По этой схеме созданы стерильные линии А-63, Княжна, Зерста 38А, методами многократного и индивидуального отбора с последующим инцухтированием из гибридных популяций создали фертильные отцовские формы – Ставропольское 36, Галия, Ларец, а также полученные на их основе гибриды Силосное 88 (стандарт), Алга, Калаус, Ярик, которые и служили объектом исследований. В среднем за 2016–2019 гг. самая значительная высота растений в условиях ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» установлена у позднеспелых комбинаций Ярик (301,4 см) и Калаус (289,0 см). Уровень истинного гетерозиса этого признака составил соответственно 41,7 % и 31,6 %. У изучаемых гибридов совпадает период опыления родительских форм, прослеживается гетерозис толщины стеблей, наибольшая облиственность растений установлена также у позднеспелых форм (15,7–16,0 %). Максимальная урожайность зелёной массы сформировалась у гибридов Ярик (102,0 т/га) и Калаус (86,7 т/га). Уровень истинного гетерозиса изучаемого признака у этих комбинаций имел значение соответственно 67,9 т/га и 47,0 т/га или 66,5 % и 54,2 %. Комбинирование других генетических плазм обеспечило меньший уровень истинного гетерозиса. Позднеспелые гибриды Ярик и Калаус имели значительно большее содержание сахара в соке стеблей (12,89–14,03 %) в сравнении со среднеспелыми Силосное 88 (8,9 %) и среднепоздним Алга (11,14 %).

Ключевые слова: сорго сахарное (*Sorghum saccharatum Pers.*), селекция, истинный гетерозис, стерильная линия, сорт, гибрид, высота растений, урожайность зелёной массы.

Для цитирования: Володин А. Б., Капустин С. И., Капустин А. С. Схема селекции и уровень гетерозиса гибридов сорго сахарного // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 1(25). С. 64–72. DOI 10.33952/2542-0720-2021-1-25-64-72.

For citation: Volodin A. B., Kapustin S. I., Kapustin A. S. Breeding scheme and heterosis level of sugar sorghum hybrids // Taurida Herald of the Agrarian Science. 2021. No. 1(25). P. 64–72. DOI 10.33952/2542-0720-2021-1-25-64-72.

Введение

Отечественные и зарубежные учёные доказали существенные преимущества гибридов сорго сахарного (*Sorghum saccharatum* Pers.) в сравнении с их исходными формами [1–4]. Гетерозис у этой культуры выражается в увеличении габитуса растений. В сравнении со средними или лучшими значениями родительских форм существенно увеличиваются высота растений, размер листьев, толщина стеблей, кустистость, масса 1000 зерен, урожайность зелёной массы, содержание сахара в соке стеблей и др. [5–8]. Открытие явления цитоплазматической мужской стерильности обеспечило возможность практического использования эффекта гетерозиса [9].

Существенное увеличение продуктивности происходит у межвидовых гибридов, созданных с помощью отдалённой генетической разнокачественности [10–14]. Образцы сорго кафрского использовали для получения стерильных аналогов (материнских форм гибридов). Для восстановления фертильности отцовские формы стерильных гибридов создавали с использованием материала травянистого, хлебного, гвинейского и в меньшей степени китайского и негритянского видов. Проведенные ранее исследования показали, что при изучении явления гетерозиса в первую очередь следует выделять высоту растений, продолжительность вегетационного периода, продуктивность и ЦМС [15–17].

На важность создания новых стерильных и фертильных линий сорго сахарного с необходимыми хозяйственно ценными свойствами указывается в научных исследованиях, проведенных в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», где в качестве исходного материала были взяты различные по происхождению, видам и морфобиологическим особенностям сорта и гибриды [18–21]. В Центре создано большое количество фертильных, стерильных линий и их аналогов, которые используют в селекционном процессе и в настоящее время [22, 23].

Цель исследований – уточнение схемы и методов селекции исходного материала, оценка уровня истинного гетерозиса количественных признаков урожайности зелёной массы и высоты растений у лучших полученных гибридов сахарного сорго, адаптированных к выращиванию в засушливой зоне Северного Кавказа.

Задача исследований – выявить и создать новые гетерозисные гибриды сорго и их родительских форм с высокими показателями продуктивности и других хозяйственно ценных признаков, пригодные для практического использования.

Материалы и методы исследований

Исследования по созданию и изучению селекционного материала сорго сахарного выполняли в 2016–2019 гг. на опытном поле ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ», расположенном в г. Михайловск Ставропольского края, методом полевых и лабораторных опытов. Материалом изучения являлись стерильные, фертильные линии, сорта и гибриды сорго сахарного, созданные в Северо-Кавказском аграрном центре.

Почва – чернозём малогумусный, среднесуглинистый с глубиной гумусового горизонта 100–120 см. Обеспеченность почвы подвижными элементами минерального питания средняя. Среднесуточная температура воздуха за май–сентябрь в 2016 г. составила 19,5 °С, в 2017 г. – 20,1 °С, в 2018 г. – 21,0 °С, в 2019 г. – 20,3 °С, при среднемноголетней норме 18,4 °С. Сумма осадков за этот период составила 383, 305, 131 и 216 мм соответственно. Среднегодовое количество осадков – 550 мм, в том числе за май–сентябрь 329 мм.

Семена сорго высевали ручной сеялкой РС-1М с междурядьями 70 см на глубину 3–4 см. Делянки питомников исходного материала и оценки новых гибридов закладывали однорядковыми, площадью 5 м². Стандарт располагали через 15 номеров. В селекционном и питомнике самоопыленных линий делянки

двухрядковые, площадью по 10 м². Питомники предварительного и конкурсного испытания изучали соответственно в трех и четырехкратной повторности, делянки трехрядковые, площадью по 30 м². В них оценивали самые лучшие и перспективные гибриды. Учёты и наблюдения проводили в течение двух-трех лет в соответствии с методикой Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [24].

Статистическую обработку осуществляли методом дисперсионного анализа урожайных и морфологических показателей у гибридов сорго F₁ [25]. Значения истинного гетерозиса рассчитывали на основании усредненных данных родительских форм и превышения над ними у полученных гибридов F₁ [2]. В 2019 г. в селекционных питомниках материалом для исследований служили 726 образцов сорго, из которых выделено 312 вариантов, в том числе 140 по признаку высокой продуктивности. Два образца в 2020 г. переданы на Государственное сортоиспытание.

Результаты и их обсуждение

В ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» созданы и внесены в Реестр селекционных достижений Российской Федерации гибриды сорго сахарного с различными морфобиологическими свойствами. Селекционная работа с сорго выполняется по полной схеме селекционного процесса, которая предусматривает определённую последовательность отбора нового исходного материала, получения стерильных линий, восстановителей фертильности [26]. Она включает различные питомники – исходного материала, селекционный, создание самоопыленных и стерильных линий, гибридизации и оценки образцов по реакции на ЦМС, комбинационную способность, государственное испытание новых гибридов (рисунок). В питомнике исходного материала изучали коллекционные и гибридные образцы.

Коллекционный материал сорго сахарного в среднем за 2016–2019 гг. включал ежегодно 118 образцов, стандартом высевали сорт Ставропольское 36, через 10 номеров. Кроме собственных вариантов высевали образцы из ФГБНУ «Аграрный научный центр “Донской”» (г. Зерноград), ООО Всероссийский НИИ сорго и сои «Славянское поле» (г. Ростов-на-Дону), ФГБНУ «Российский НИИ сорго и кукурузы» (г. Саратов), ФГАОУ ВО «КФУ имени В.И. Вернадского» (Республика Крым), Краснодар, Одесского СГИ, Молдовы, Китая, Казахстана. Изучение проводили в течение одного-двух лет. По результатам учетов осуществляли группировку образцов по важнейшим показателям и выделение лучших для включения в селекционный процесс. Такие формы включали в скрещивания со стерильной линией для оценки их реакции на ЦМС и возможного выявления высокой гетерозисной мощности. Лучшие образцы скрещивали с тремя тестерами с целью определения их комбинационной способности. Выполняли самоопыление трех-четырёх метелок каждого образца для их сохранения и размножения. В проведенных исследованиях по интенсивности первоначального роста и высоте растений выделено 18 номеров. Урожайность зелёной массы, её высокая облиственность, а также содержание сахара в соке стеблей более 20 % получены у 13 номеров. Существенного полегания растений, повреждения их вредителями и болезнями не установлено.

В питомнике исходного материала, кроме коллекционного, изучали гибридные образцы. Выделение линий из гибридных комбинаций путём самоопыления и отбора лучших растений – задача гибридного питомника. Для создания исходного материала в ряде случаев использовали метод обогащающих скрещиваний на основе ЦМС. Для первичного скрещивания подбирали линии, обладающие высокой комбинационной и закрепительной способностью. Опыляли стерильную линию с не родственными закрепителями стерильности у которых

имеются полезные признаки, отсутствующие у первой. Отобранные в потомстве растения после достижения выравненности включали в испытания на продуктивность, ЦМС и комбинационную способность.



Рисунок – Схема селекционного процесса гетерозисных гибридов сорго сахарного на стерильной основе

Для дальнейшей селекционной работы ежегодно отбирали в среднем 345 растений. Полученные с них семена в последующие годы высевали в соответствующих гибридных питомниках. В питомнике старших поколений для дальнейшего изучения отбирали 11–15 образцов. В задачу селекционного питомника входит доведение в течение двух лет до константного состояния номеров, получивших высокую оценку и скрещивание со стерильными тестерами для оценки их на реакцию ЦМС и комбинационную способность.

В питомнике самоопылённых линий селектировали линии в пятом поколении, осуществляли оценку урожайности и биометрических данных. В нём методами многократного и индивидуального отбора с последующим инцухтированием из гибридных популяций создали фертильную линию Ларец, сорта Галия и Ставропольское 36. Питомник стерильных линий включает образцы, которые по реакции на ЦМС являются закрепителями. Методом насыщающих скрещиваний и отборов на стерильность создавали стерильные аналоги и к ним – линии закрепители стерильности. Линии Зерста 38А и Княжна получены методом насыщающих скрещиваний, а А-63 – методом топкросса.

Гибридизация – метод селекции, позволяющий сочетать ценные качества скрещиваемых растений и на их основе получать новые формы. Питомник гибридизации высевается для создания сортов и гибридов сахарного сорго с высокой продуктивностью зеленой массы, с большим содержанием сахара в соке стеблей и рентабельным семеноводством. В этом питомнике целенаправленно выращивали стерильные линии, с которыми запланировано создание гибридов, и

осуществляли ручные скрещивания с сортами и фертильными линиями для получения новых гибридов. Стерильные и фертильные образцы подбирали по признаку совпадения фаз развития и наличия хозяйственно ценных свойств. С перспективных фертильных образцов, находящихся в коллекционном, селекционном и питомнике самоопыленных линий брали пыльцу для опыления стерильных линий. Ежегодно осуществляли по 130–210 комбинаций скрещивания. Полученные под изоляторами семена в следующем году высевали для изучения.

С целью снижения нагрузки на другие испытания в питомнике оценки новых гибридов с помощью визуального наблюдения и учётов по комплексу фенотипических признаков проводили жёсткую браковку менее ценных гибридов. У лучших выделившихся новых стерильных, самоопыленных линий и сортов осуществляли основную оценку по реакции на ЦМС и комбинационную способность.

По приведённой схеме селекционного процесса в 1990–2017 гг. в ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» созданы стерильные линии – А-63, Княжна, Зерста 38А, фертильные отцовские формы-восстановители сорта – Ставропольское 36, Галия, линия Ларец, а также полученные на их основе гибриды сорго сахарного – Силосное 88, Алга, Калаус, Ярик (таблица).

Таблица – Уровень гетерозиса высоты растений и урожайности зеленой массы гибридов сахарного сорго (среднее за 2016–2019 гг.)

Гибриды сахарного сорго и их родительские формы	Высота растений в фазе созревания семян			Урожайность зеленой массы		
	показатель, см	истинный гетерозис		показатель, т/га	истинный гетерозис	
		см	%		т/га	%
Силосное 88 – F ₁ (St.)	232,4	57,0	24,5	63,6	32,4	50,9
Стерильная линия А-63 – материнская форма	134,2			19,2		
Сорт Ставропольское 36 – отцовская форма	216,5			43,1		
Алга – F ₁	272,0	72,0	26,5	80,2	42,9	53,5
Стерильная линия Княжна – материнская форма	164,5			20,4		
Сорт Галия – отцовская форма	235,5			54,2		
Калаус – F ₁	289,0	91,4	31,6	86,7	47,0	54,2
Стерильная линия Княжна – материнская форма	164,7			19,6		
Ферт. линия Ларец – отцовская форма	230,5			59,8		
Ярик – F ₁	301,4	125,8	41,7	102,0	67,9	66,5
Стерильная линия Зерста 38А – материнская форма	115,6			13,9		
Сорт Галия – отцовская форма	235,3			54,2		
НСР ₀₅ для:	гибридов F ₁	13,2		3,74		
	родительских форм	11,3		1,76		

У изучаемых гибридов хорошо подобраны родительские формы с учётом совпадения периодов опыления. В фазе созревания семян самая значительная высота растений установлена у позднеспелых комбинаций Ярик (301,4 см) и Калаус (289,0 см). Более ранние Алга и стандарт Силосное 88 значительно им уступали (232,4–272,0 см). Наибольший уровень гетерозиса по высоте растений отмечали у гибрида Ярик (125,8 см; 41,7 %). Высота родительских форм у него составила 115,6 см и 235,5 см.

Установлена зависимость величины уровня гетерозиса высоты растений от продолжительности вегетационного периода и подбора родительских форм. У всех гибридов прослеживается гетерозис толщины стеблей и наибольшим он был у более позднеспелых и высокорослых Калаус и Ярик. Максимальная облиственность растений установлена также у более высокорослых и позднеспелых гибридов (15,7–16,0 %). Это на 1,5–3,3 % выше, чем у их родительских форм. Характер сердцевины изучаемых комбинаций был сочным, независимо от их родительских форм.

Урожайность зеленой массы изучаемых гибридов зависела от высоты растений, продолжительности вегетационного периода, облиственности и самой значительной получена у позднеспелых Ярик (102,0 т/га) и Калаус (86,7 т/га). У среднеспелого гибрида Алга сбор зеленой массы составлял 80,2 т/га, среднеспелого Силосное 88 – 63,6 т/га. Материнские формы А-63 и Княжна обеспечили урожай зеленой массы 19,2–20,4 т/га, а Зерста 38А – 13,9 т/га. Более высокорослые отцовские сорта и линии имели урожайность зеленой массы: Ставропольское 36 – 43,1 т/га, Галия – 54,2 т/га, Ларец – 59,8 т/га. Однако при скрещивании низкорослой материнской формы Зерста 38А с сортом Галия получен самый высокий уровень гетерозиса урожайности зеленой массы (67,9 т/га; 66,5 %). Комбинирование других генетических плазм обеспечило меньший уровень истинного гетерозиса.

В среднем за 2016–2019 гг. более позднеспелые гибриды Ярик и Калаус обеспечили значительно большее содержание сахара в соке стеблей (12,89–14,03 %) в сравнении со среднеспелым Силосное 88 (8,91 %) и среднеспелым Алга (11,14 %). Содержание протеина в зеленой массе созданных гибридов сорго имело промежуточный характер – 7,01–8,10 %. У материнских форм содержание протеина составило 8,71–10,41 %, а у отцовских форм значительно меньше – 6,75–7,49 %.

Выводы

В ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» методами насыщающих скрещиваний и топкросса созданы стерильные линии А-63, Княжна, Зерста 38А, методами многократного и индивидуального отбора с последующим инцухтированием из гибридных популяций создали фертильные отцовские формы-восстановители сорта – Ставропольское 36, Галия, линия Ларец, а также полученные на их основе гибриды сорго сахарного – Силосное 88, Алга, Калаус, Ярик.

В среднем за 2016–2019 гг. родительские формы гибридов сахарного сорго Калаус и Ярик обеспечили более продолжительный период вегетации, более высокую облиственность зеленой массы и толщины стебля. Высота растений у этих гибридов составила соответственно 289,0 см и 301,4 см. Уровень истинного гетерозиса при этом достигал величин 31,6 % и 41,7 %.

Содержание сахара в соке стеблей у гибридов Калаус и Ярик было на 1,75–2,89 % больше, чем у Алга и 3,98–5,12 % в сравнении с Силосное 88. Не установлено корреляционной зависимости между урожайностью зеленой массы и наличием сахара. Этот признак зависел от климатических условий и был выше в более засушливом 2018 г.

Максимальная урожайность зеленой массы получена также у гибридов Ярик (102,0 т/га) и Калаус (86,7 т/га). Уровень истинного гетерозиса этого признака у гибридов составил соответственно 67,9 т/га и 47,0 т/га или 66,5 % и 54,2 %.

Литература

1. Жукова М. П. Селекция высокоурожайных сортов и гибридов сорго // Труды СНИИСХ: Создание новых сортов и гибридов сорго и суданской травы. Ставрополь: СНИИСХ, 1984. С. 4–8.
2. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Inheritance of morphological and fertile characters in heterozygous sorghum hybrids // Ukrainian journal of ecology. 2018. Vol. 8. No. 3. P. 273–281.
3. Pal K., Singh S. K., Kumar B., Singh C. Studies on heterosis and inbreeding depression in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // Biochemical and Cellular Archives. 2017. Vol. 17. No. 1. P. 117–128.
4. Li X., Li X., Fridman E., Tesso T. T., Yu J., Phillips R. L. Dissecting repulsion linkage in the dwarfing gene Dw3 region for sorghum plant height provides insights into heterosis // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2015. Vol. 112. No. 38. P. 11823–11828. DOI: 10.1073/pnas.1509229112.
5. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Использование сорго и основные направления селекционной работы во ВНИИЗК им. Калиненко // Таврический вестник аграрной науки. 2016. № 3 (7). С. 60–67.
6. Гашимова З. Р., Горпиниченко С. И., Ермолина Г. М., Ляшов П. И. Результаты селекции сорго травянистого во ВНИИЗК им. И. Г. Калиненко // Зерновое хозяйство России. 2009. № 6. С. 18–21.

7. Исаков Я. И., Горпиниченко С. И. Селекция сахарного сорго // Кукуруза и сорго. 2003. № 1. С. 9–12.
8. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Наследование высоты растений у гибридов второго поколения разных групп сорго // Зерновое хозяйство России. 2014. № 1. С. 9–12.
9. Драненко М. А. Использование цитоплазматической мужской стерильности для получения гетерозисных семян сорго и сорго-суданковых гибридов // Сборник трудов ВАСХНИЛ: Гетерозис в растениеводстве. Л.: Колос, 1968. С. 280–291.
10. Шепель Н. А. Эффективность гетерозиса при межвидовой гибридизации сорговых // Сборник трудов ВАСХНИЛ: Гетерозис в растениеводстве. Л.: Колос, 1968. С. 268–279.
11. Tariq A. S., Akram Z., Shabbir G., Khan K. S., Mahmood T., Iqbal M. S. Heterosis and combining ability evaluation for quality traits in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 2014. Vol. 46. No. 2. P. 174–182.
12. Mindaye T. T., Mace E. S., Godwin I. D., Jordan D. R. Heterosis in locally adapted sorghum genotypes and potential of hybrids for increased productivity in contrasting environments in Ethiopia // Crop Journal. 2016. Vol. 4. No. 6. P. 479–489. DOI: 10.1016/j.cj.2016.06.020.
13. Ковтунова Н. А., Ермолина Г. М. Использование закономерностей наследования содержания протеина в зеленой массе сорго сахарного для получения высокобелкового корма // Зерновое хозяйство России. 2012. № 4. С. 9–13.
14. Reddy P. S., Reddy B. V. S., Rao P. S. Genotype by sowing date interaction effects on sugar yield components in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 2014. Vol. 46 (2). P. 305–312.
15. Малиновский Б. Н. Итоги селекции силосного сорго в Ставропольском селекцентре // Труды СНИИСХ: Вопросы биологии, селекции и семеноводства сорго. Ставрополь: Статуправление Ставропольского края, 1977. С. 12–22.
16. Pal K., Singh S. K., Kumar B., Singh C. Studies on combining ability and heterosis in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // Biochemical and Cellular Archives. 2017. Vol. 17 (1). P. 79–96.
17. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2003. 368 с.
18. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Эффективность использования однолетних яровых кормовых культур в засушливых условиях Центрального Предкавказья // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 3 (11). С. 72–79.
19. Kapustin S., Volodin A., Kapustin A. Comprehensive assessment of new varieties hybrids sugar sorghum in the conditions of South Russia // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. Vol. 06. No. 06. P. 11512–11517. DOI: 10.5281/zenodo.3238586.
20. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustina A. S., Kapustin A. S. Effectiveness of sugar sorghum hybrids in the arid conditions of North Caucasus // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2020. Vol. 10 (3). P. 435–440. DOI: 10.31407/ijeess10.301.
21. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Assessment of salt tolerance of a collection of sorghum genotypes // Bioscience research. 2020. Vol. 17 (3). P. 1676–1681.
22. Багринцева Н. А. Подбор и создание нового исходного материала для селекции зернового сорго. Автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Михайловск: СНИИСХ, 2005. 22 с.
23. Кулинцев В. В., Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Паньков Ю. И. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур на семена: монография. Ставрополь: Сервис-школа, 2019. 128 с.
24. Федин М. А. Методика Государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: МСХ СССР, 1985. 267 с.
25. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
26. Шепель Н. А. Селекция и семеноводство гибридного сорго. Ростов-на-Дону: Ростовский университет, 1985. 256 с.

References

1. Zhukova M. P. Selection of high-yielding varieties and hybrids of sorghum // Creation of new varieties and hybrids of sorghum and Sudan grass. Stavropol: SNIISH, 1984. P. 4–8.
2. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Inheritance of morphological and fertile characters in heterozygous sorghum hybrids // Ukrainian journal of ecology. 2018. Vol. 8. No. 3. P. 273–281.
3. Pal K., Singh S. K., Kumar B., Singh C. Studies on heterosis and inbreeding depression in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // Biochemical and Cellular Archives. 2017. Vol. 17 (1). P. 117–128.
4. Li X., Li X., Fridman E., Tesso T. T., Yu J., Phillips R. L. Dissecting repulsion linkage in the dwarfing gene Dw3 region for sorghum plant height provides insights into heterosis // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2015. Vol. 112 (38). P. 11823–11828. DOI: 10.1073/pnas.1509229112.

5. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. The use of sorghum and the main areas of breeding work in ARRIGC named after I.G. Kalinenko // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2016. No. 3 (7). P. 60–67.
6. Gashimova Z. R., Gorpinichenko S. I., Ermolina G. M., Lyashov P. I. Selection results of grass sorghum in All-Russian Scientific-Research Institute of Grain Crops after I.G. Kalinenko // Grain Economy of Russia. 2009. No. 6. P. 18–21.
7. Isakov Ya. I., Gorpinichenko S. I. Selection of sugar sorghum // Kukuza i sorgo. 2003. No. 1. P. 9–12.
8. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. Inheritance of plants' height of different sorghum groups' hybrids of the second generation // Grain Economy of Russia. 2014. No. 1. P. 9–12.
9. Dranenko M. A. The use of cytoplasmic male sterility to obtain heterotic seeds of sorghum and sorghum-sudan grass hybrids // Collection of scientific works of V.I. Lenin Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL): Heterosis in crop production. Leningrad: Kolos, 1968. P. 280–291.
10. Shepel N. A. The effectiveness of heterosis in interspecific hybridization of sorghum // Collection of scientific works of V.I. Lenin Academy of Agricultural Sciences (VASKhNIL): Heterosis in crop production. Leningrad: Kolos, 1968. P. 268–279.
11. Tariq A. S., Akram Z., Shabbir G., Khan K. S., Mahmood T., Iqbal M. S. Heterosis and combining ability evaluation for quality traits in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.) // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 2014. Vol. 46 (2). P. 174–182.
12. Mindaye T. T., Mace E. S., Godwin I. D., Jordan D. R. Heterosis in locally adapted sorghum genotypes and potential of hybrids for increased productivity in contrasting environments in Ethiopia // Crop Journal. 2016. Vol. 4 (6). P. 479–489. DOI: 10.1016/j.cj.2016.06.020.
13. Kovtunova N. A., Ermolina G. M. Usage of inheritance consistent patterns of protein content in green mass of sugar sorghum for high-protein fodder // Grain Economy of Russia. 2012. No. 4. P. 9–13.
14. Reddy P. S., Reddy B. V. S., Rao P. S. Genotype by sowing date interaction effects on sugar yield components in sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // SABRAO Journal of Breeding and Genetics. 2014. Vol. 46 (2). P. 305–312.
15. Malinovsky B. N. The results of the selection of silage sorghum in the Stavropol breeding center // Issues of biology, selection and seed production of sorghum. Stavropol: Statistical Office of the Stavropol Territory, 1977. P. 12–22.
16. Pal K., Singh S. K., Kumar B., Singh C. Studies on combining ability and heterosis in forage sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) // Biochemical and Cellular Archives. 2017. Vol. 17 (1). P. 79–96.
17. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gursky N. G. Sorghum (selection, seed production, technology, economics). Rostov-on-Don: "Kniga ZAO" (Close Joint-stock Company), 2003. 368 p.
18. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Annual spring fodder crops use efficiency in dry areas of the central Ciscaucasia // Taurida Herald of the Agrarian Science. 2017. No. 3 (11). P. 72–79.
19. Kapustin S., Volodin A., Kapustin A. Comprehensive assessment of new varieties hybrids sugar sorghum in the conditions of South Russia // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2019. Vol. 06. No. 06. P. 11512–11517. DOI: 10.5281/zenodo.3238586.
20. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustina A. S., Kapustin A. S. Effectiveness of sugar sorghum hybrids in the arid conditions of North Caucasus // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2020. Vol. 10 (3). P. 435–440. DOI: 10.31407/ijeec10.301.
21. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Assessment of salt tolerance of a collection of sorghum genotypes // Bioscience research. 2020. Vol. 17 (3). P. 1676–1681.
22. Bagrintseva N. A. Selection and creation of a new source material for the selection of grain sorghum. Abstract diss. ... Cand. Sc. (Agr.). Mikhailovsk: North-Caucasus Research Institute of Agriculture, 2005. 22 p.
23. Kulintsev V. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Pan'kov, Yu. I. Cultivation of sorghum and annual forage crops for seeds: Monograph. Stavropol: Servis-Shkola, 2019. 128 p.
24. Fedin M. A. Methodology of the State variety testing of agricultural crops. Moscow: USSR Ministry of Agriculture, 1985. 267 p.
25. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.
26. Shepel N. A. Selection and seed production of hybrid sorghum. Rostov-on-Don: Rostov University, 1985. 256 p.

UDC 633.74.1:631.521.5

Volodin A. B., Kapustin S. I., Kapustin A. S.

BREEDING SCHEME AND HETEROSIS LEVEL OF SUGAR SORGHUM HYBRIDS

Summary. Creation and introduction of new hybrids of sugar sorghum adaptive to arid conditions allow stabilizing and increasing the productivity of forage mass over the

years, which is of current importance. The aim of the research was to clarify the scheme and methods of selection of the initial material, assess the level of true heterosis, quantitative traits of green mass yield and plant height in the best obtained hybrids of sugar sorghum. The research was carried out according to the methods of laboratory and field experiments. The scheme of the breeding process included nurseries of source material and breeding nurseries, as well as creation of self-pollinated and sterile lines, hybridization, assessment of samples for CMS, combining ability, and testing new hybrids by saturating crosses and topcross. According to this scheme, sterile lines 'A-63', 'Knyazhna', 'Zersta 38A' were created. By methods of multiple and individual selection with subsequent inbreeding from hybrid populations, fertile paternal forms 'Stavropolskoe 36', 'Galia' and 'Larets' were created. Also, obtained on their basis hybrids 'Silosnoe 88' (standard), 'Alga', 'Kalaus', 'Yarik' served as the object of research. On average for 2016–2019, the most significant plant height under the conditions of the "North-Caucasus Federal Agrarian Research Center" was found in late-ripening combinations 'Yarik' (301.4 cm) and 'Kalaus' (289.0 cm). The level of true heterosis of this trait was 41.7 % and 31.6 %, respectively. In the studied hybrids, the pollination period of the parental forms coincides, the heterosis of the thickness of the stems is observed. The significant leafiness of the plants is also found to be in the late-ripening forms (15.7–16.0 %). The maximum yield of green mass was obtained from hybrids 'Yarik' (102.0 t/ha) and 'Kalaus' (86.7 t/ha). The level of true heterosis of the studied trait in these combinations was 67.9 t/ha and 47.0 t/ha, respectively, or 66.5 % and 54.2 %. The combination of other genetic plasmas provided a lower level of true heterosis. The late-ripening hybrids 'Yarik' and 'Kalaus' have significantly higher sugar content in the juice of the stems (12.89–14.03 %) compared with the mid-ripening 'Silosnoe 88' (8.9 %) and the medium-late 'Alga' (11.14 %).

Keywords: *Sorghum saccharatum*, breeding, true heterosis, sterile line, variety, hybrid, plant height, green mass productivity.

Володин Александр Борисович, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией селекции и первичного семеноводства сорго, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; e-mail: sniish@mail.ru.

Капустин Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго, ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»; 356241, Россия, Ставропольский край, г. Михайловск, ул. Никонова, 49; доцент кафедры общего земледелия, растениеводства, селекции и семеноводства им. профессора Ф. И. Бобрышева, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»; 355017, Россия, г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12; e-mail: sniish@mail.ru.

Капустин Андрей Сергеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник центра развития публикационной активности и патентно-лицензионной работы управления науки и технологии, ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»; 355017, Россия, Ставропольский край, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1; e-mail: akapustin@ncfu.ru.

Volodin Aleksandr Borisovich, Cand. Sc. (Agr.), leading researcher, head of the Laboratory of selection and primary seed sorghum breeding FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Center"; 49, Nikonova str., Mihailovsk, 356241, Russia; e-mail: sniish@mail.ru.

Kapustin Sergey Ivanovich, Cand. Sc. (Agr.), associate professor, senior researcher of the Laboratory of selection and primary seed sorghum breeding FSBSI "North Caucasus Federal Agricultural Research Center"; 49, Nikonova str., Mihailovsk, 356241, Russia; Associate Professor of the Department of general agriculture, plant growing, breeding and seed production named after Professor F.I. Bobrysheva, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Stavropol State Agrarian University"; 12, Zootehnicheskiiy lane, Stavropol, 355017, Russia; e-mail: sniish@mail.ru.

Kapustin Andrey Sergeevich, Cand. Sc. (Agr.), senior researcher of the Center for the development of publishing activity and patent licensing of science and technology; Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "North-Caucasus Federal University"; 1, Pushkin str., Stavropol, 355017, Russia; e-mail: akapustin@ncfu.ru.

Дата поступления в редакцию – 29.12.2020.
Дата принятия к печати – 21.01.2021.