

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИБРИДИЗАЦИИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ НОВЫХ СОРТОВ И ГИБРИДОВ СОРГО

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

Гибридикация – это главный метод для создания нового селекционного материала, получения генетической изменчивости, объединения желаемых признаков. Цель данной работы – дать характеристику новым перспективным сортам и гибридам сорго сахарного и травянистого селекции «АНЦ «Донской», созданным в результате гибридикации на стерильной и фертильной основе. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на селекционном поле ФГБНУ «АНЦ «Донской» в г. Зернограде Ростовской области. Зона характеризуется обыкновенным карбонатным черноземом (содержание гумуса – 3,2 %, фосфора – 10–40 мг/кг, азота – 70–110 мг/кг, калия – 300–500 мг/кг почвы). Метеоусловия в годы исследований были контрастными: в 2022 г. ГТК = 0,52, что указывает на среднюю засушливость; ГТК = 0,81–0,82 в 2021 и 2023 гг. соответственно – на недостаточное увлажнение. Объектом исследований послужили сорта и гибриды суданской травы и сорго сахарного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». В результате гибридикации на стерильной основе создан ряд сорго-суданковых гибридов (Джетта х Кудесница, АПВ-1115 х Тополина, АПВ-1115 х ФП, Добрыня, Гордей) и гибридов сорго сахарного (АПВ-115 х Южное, Джетта х Северная вишня, Дуэт), позволяющих получать урожайность зеленой массы 51–63 и 47–49 т/га соответственно, что выше стандарта на 5–17 т/га (10,8–37,0 %) и 5–7 т/га (11,9–16,7 %) соответственно. С использованием межсортной гибридикации созданы практически все сорта селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Среди них сорта суданской травы Алиса, Грация, Анастасия, Кудесница, ФП и сорта сорго сахарного Южное, Феникс, Орфей, СК-20/334, Северная вишня с урожайностью зеленой массы 40–48 и 34–38 т/га, что выше стандартных сортов на 3–11 т/га (8,1–29,7 %) и на 7–11 т/га (25,9–40,7 %) соответственно. Таким образом, гибридикация – главный метод для создания нового селекционного материала и объединения желаемых признаков в новых образцах.

Ключевые слова: сорго сахарное, суданская трава, гибрид, урожайность, цитоплазматическая мужская стерильность, сорт.

Для цитирования: Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Шишова Е. А. Использование гибридикации для создания новых сортов и гибридов сорго // Зерновое хозяйство России. 2024. Т. 16, № 1. С. 26–32. DOI: 10.31367/2079-8725-2024-90-1-26-32.



USE OF HYBRIDIZATION TO DEVELOP NEW SORGHUM VARIETIES AND HYBRIDS

N. A. Kovtunova, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for feed sorghum breeding and seed production, n-beseda@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-0409-5855
V. V. Kovtunov, Candidate of Agricultural Sciences, leading researcher of the laboratory for grain sorghum breeding and seed production, kowtunow85@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7510-7705
A. E. Romanyukin, Candidate of Agricultural Sciences, senior researcher of the laboratory for feed sorghum breeding and seed production, sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-4349-8489
E. A. Shishova, junior researcher of the laboratory for feed sorghum breeding and seed production, ORCID ID: 0000-0002-7406-6622
FSBSI Agricultural Research Center “Donskoy”,
347740, Rostov region, Zernograd, Nauchny Gorodok, 3; e-mail: vniizk30@mail.ru

Hybridization is the main method for developing new breeding material, obtaining genetic variability, and combining desired traits. The purpose of the current work is to characterize new promising varieties and hybrids of sweet and grass sorghum developed by the “ARC “Donskoy” because of hybridization on a sterile and fertile basis. The study was conducted on the breeding field of the FSBSI “ARC “Donskoy”, Zernograd, Rostov region in 2021–2023. The zone is characterized by ordinary carbonate chernozem (3.2 % of humus, 10–40 mg/kg of phosphorus, 70–110 mg/kg of nitrogen, 300–500 mg per kg of soil of potassium). Meteorological conditions during the years of study (2021–2023) were contrasting: in 2022, HTC = 0.52 indicated average aridity and insufficient moisture with 0.81–0.82 in 2021 and 2023. The objects of the study were the varieties and hybrids of Sudan grass and sugar sorghum developed by the FSBSI “ARC “Donskoy”. As a result of hybridization on a sterile basis, there was developed a number of sorghum-Sudan hybrids (‘Jetta x Kudesnitsa’, ‘APV-1115 x Topolina’, ‘APV-1115 x FP’, ‘Dobrynya’, ‘Gordey’) and sweet sorghum hybrids (‘APV-115 x Yuzhnoye’, ‘Jetta x Severanay Vishnya’, ‘Duet’), allowing to obtain green mass yields of 51–63 and

47–49 t/ha, which was higher than the standard by 5–17 t/ha (10.8–37.0 %) and 5–7 t/ha (11.9–16.7 %) respectively. Using intervarietal hybridization, almost all varieties developed by the FSBSI “ARC “Donskoy” have been created. Among them there are the Sudan grass varieties ‘Alisa’, ‘Gratsiya’, ‘Anastasiya’, ‘Kudesnitsa’, ‘FP’ and the sweet sorghum varieties ‘Yuzhnoe’, ‘Feniks’, ‘Orfey’, ‘SK-20/334’, ‘Severanay Vishnya’ with a green mass yield of 40–48 and 34–38 t/ha, which is higher than that of standard varieties by 3–11 t/ha (8.1–29.7 %) and 7–11 t/ha (25.9–40.7 %), respectively. Thus, hybridization is the main method for developing new breeding material and combining the desired traits in new samples.

Keywords: sweet sorghum, Sudan grass, hybrid, productivity, cytoplasmic male sterility, variety.

Введение. Создание сортов и гибридов – главная цель селекционера любой сельскохозяйственной культуры. К сортам и гибридам сорговых культур предъявляется ряд требований: высокая урожайность и качество, раннеспелость, приспособленность к механизированной уборке, устойчивость к болезням и вредителям, полеганию, стресс-факторам (Беседа и др., 2010; Филенко и др., 2019; Bazitov and Enchev, 2021). Поэтому в задачи при создании сорта входят:

- усиление генетического контроля урожайности в стрессовых и обычных условиях, то есть слабое варьирование по годам;
- повышение фотосинтетической активности;
- реализация потенциальных возможностей сорта;
- фенотипическая выравненность и др. (Abreha et al., 2021; Asadi and Eshghizadeh, 2020).

При селекции сорго травянистого необходимо создание раннеспелого сорта или гибрида, характеризующегося холодостойкостью, высокой облиственностью, сочностебельностью, высокой урожайностью и качеством зеленой массы, устойчивого к полеганию, пыльной головне, бурой ржавчине, бактериозу.

При селекции сорго сахарного стремятся создать среднеспелый, в лучшем случае раннеспелый сорт, сочетающий высокую урожайность и качество зеленой массы на силос, хорошо облиственный, устойчивый к полеганию, болезням, вредителям (тля), с высоким (более 15 % при создании сорта на пищевые цели, получения спирта) и средним (8–12 % – на кормовые цели) содержанием сахаров (Ермолина и др., 2017; Kapustin et al., 2022).

Данные задачи выполняются с помощью различных методов селекции. В этом случае гибридизация – главный метод для создания нового селекционного материала, получения генетической изменчивости, объединения желаемых признаков. В результате гибридизации на стерильной основе (межвидовая гибридизация) получают сорго-суданковые гибриды и гибриды сорго сахарного. Этот способ получения высокогетерозисного потомства стал возможен после открытия в 1950 г. Дж. Стефенсом цитоплазматической мужской стерильности (ЦМС). Привлечение ЦМС-линий в гибридизацию позволяет создавать новые комбинации ядерных и цитоплазматических генов, в результате гетерозиса гибриды, полученные этим способом, значительно превосходят своих родителей по урожайности зеленой массы (Kapustin et al., 2022; Zeru and Chang, 2020; Vozhzhova et al., 2021).

В результате гибридизации на фертильной основе (межсортная) получают линии и сорта. Но до момента выделения элитного растения у сорго проходит не менее 5 лет после скрещивания. Только в результате самоопыления и отборов в течение этого времени можно получить чистую выравненную линию. Методы межсортной гибридизации у суданской травы были разработаны Н.Ф. Соколенко, А.М. Фаворовым и С.И. Венгреневским (Ермолина и др., 2017).

При планировании плана гибридизации необходимо учитывать наследование признаков. Так, установлено, что высота растений носит доминантный характер. В связи с этим родительские формы лучше подбирать невысокие, так как уборка семенников будет значительно усложнена. По содержанию протеина доминируют средние значения признака, поэтому хотя бы один из родителей должен иметь высокое значение (Ковтунова, 2023).

С помощью гибридизации возможно совмещение хозяйственно ценных признаков. Однако это достаточно сложная задача из-за корреляционных зависимостей признаков. Например, установлено, что повысить урожайность гораздо легче за счет удлинения вегетационного периода, чем за счет других факторов (Беседа и др., 2010; Bazitov and Enchev, 2021; Юдин и др., 2022). Кроме того, скороспелость неблагоприятно влияет на качество и выход корма. Высокая кустистость суданской травы наблюдается в основном у низкоурожайных скороспелых образцов, содержание протеина снижается при высокой урожайности и др. Для решения данной проблемы необходим богатый генетический материал.

Цель данной работы: дать характеристику новым перспективным сортам и гибридам сорго сахарного и травянистого селекции «АНЦ «Донской», созданным в результате гибридизации на стерильной и фертильной основе.

Материалы и методы исследований. Исследования проведены в 2021–2023 гг. на селекционном поле ФГБНУ «АНЦ «Донской» в г. Зернограде Ростовской области. Зона характеризуется обыкновенным карбонатным черноземом (содержание гумуса – 3,2 %, фосфора – 10–40 мг/кг, азота – 70–110 мг/кг, калия – 300–500 мг/кг почвы). Метеоусловия в годы исследований (2021–2023 гг.) были контрастными: в 2022 г. ГТК = 0,52 указывает на среднюю засушливость и 0,81–0,82 в 2021 и 2023 гг. – на недостаточное увлажнение.

Объектом исследований послужили сорта и гибриды суданской травы и сорго сахарного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской».

Закладку опытов проводили в соответствии с Методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур (1989). Посев осуществляли в оптимальные сроки (первая–вторая декада мая) широкорядным способом (норма высева сорго травянистого – 350 тыс. шт./га, сорго сахарного – 200 тыс. шт./га). Уборку зеленой массы проводили в фазу выметывания (суданская трава и сорго-суданковые гибриды) и в фазу молочно-восковой спелости (сорго сахарное).

Содержание сухого вещества и сырого протеина определяли согласно общепринятым методикам (ГОСТ 31640-2012, ГОСТ 10846-91).

Для создания гибридов сорго на стерильной основе в ФГБНУ «АНЦ «Донской» привлекают ЦМС-линии сорго зернового Деметра и Джетта и сорго сахарного АПВ-1115. В качестве опылителей используют перспективные высокоурожайные сорта. Сложности при этом типе гибридизации состоят в необходимости идеальной стерильности линии, выравненной по созреванию, подбор родительских форм, совпадающих по срокам цветения. Растения ЦМС-линий не опыляются, если зацветают раньше опылителя. Если опылитель зацветет раньше, чем линия, то линия может опылиться пылью подгонов, если они имеются. Но в этом случае завязываемость семян низкая (Кибальник, 2019, Шишова и др., 2020). Кроме того, опылитель должен иметь высокую комбинационную способность.

Процесс закладки участка гибридизации требует значительной площади посева, так как сорго – перекрестноопыляемая культура, и между участками должна быть пространственная изоляция не менее 500 м. Наиболее благоприятные условия для опыления ЦМС-линий достигаются при закладке участка по схеме 1:4:1, где опылители находятся по краям.

Гибридизация на фертильной основе у сорго может проводиться различными способами.

1. С использованием полиэтиленового пакета, когда пыльца под воздействием жары, испарения становится стерильной под пакетом и опыление проводят пылью с другого сорта, линии. Недостаток способа: при низких температурах, пасмурной погоде пыльца может остаться фертильной, и произойдет опыление своей пылью. Кроме того, необходимо заранее изучить пыльцу этого образца на стерильность.

2. Метод кастрации применяют на всех культурах. Недостаток: трудоемкий процесс, высокий риск травмирования, слабая завязываемость семян при высоких температурах.

3. Метод, основанный на естественном переопылении, согласно которому родительские формы помещают под один изолятор и в результате получают около 30 % гибридных семян.

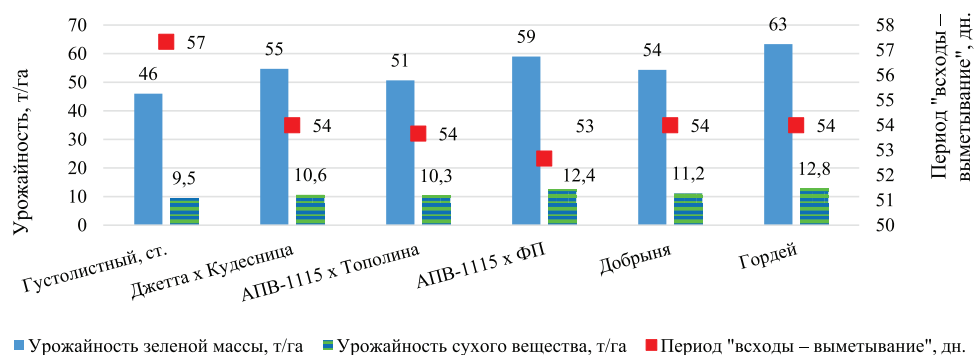
После получения гибридных зерен необходимо сохранять чистоту, для чего ежегодно проводят изоляцию метелок, а после выделения элитного растения размножение семян проводят с использованием пространственной изоляции. Самоопыление у перекрестников способствует эффективному формообразованию (Юдин и др., 2022; Kushkhov et al., 2021). Следует учитывать, что инцихт в жаркую погоду, искусственная изоляция дают череззерницу. Кроме того, при высоких температурах цветение метелки значительно ускоряется.

Математическую обработку проводили по методике Б. А. Доспехова (2014).

Результаты и их обсуждение.

Гибридизация на стерильной основе.

По сорго травянистому получены среднеспелые гибриды с урожайностью зеленой массы 51–63 т/га, урожайностью сухого вещества 10,3–12,8 т/га, с высокой площадью листовой поверхности (155–236 см²), хорошо облиственные (10–12 листьев на растении) (рис. 1).



Примечание. Урожайность зеленой массы $HCP_{05} = 9,3$ т/га, урожайность сухого вещества $HCP_{05} = 2,0$ т/га, период «всходы – выметывание» $HCP_{05} = 3$ дн.

Рис. 1. Характеристика перспективных сорго-суданковых гибридов (2021–2023 гг.)
Fig. 1. Characteristics of promising sorghum-Sudan hybrids (2021–2023)

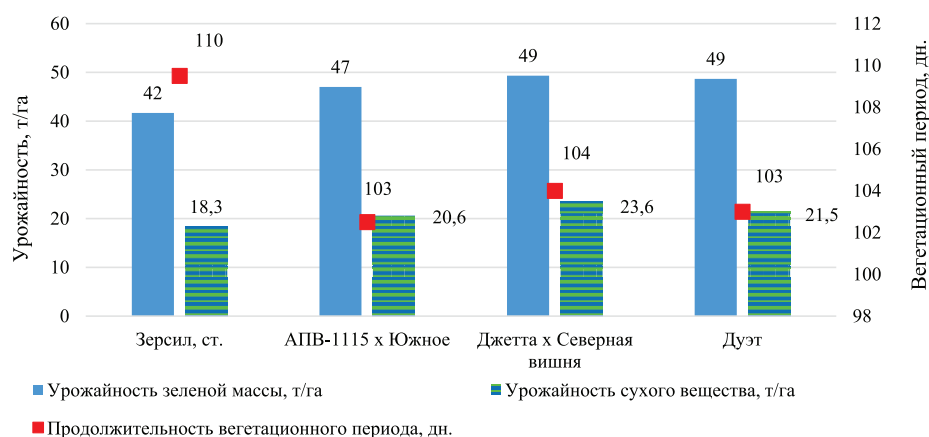
В Государственный реестр селекционных достижений РФ внесены два сорго-суданковых гибрида селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»:

Густолистный (2001 г.) и Добрыня (2023 г.). Гибрид Гордей проходит Государственное сортоиспытание с 2023 года. Они рекоменду-

ются для возделывания на зеленый корм, сено, сенаж по Северо-Кавказскому, Нижневолжскому и Центрально-Черноземному регионам РФ.

Гибриды сорго сахарного селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской», приведенные на рисунке 2, характеризуются урожайностью зеленой массы на силос 47–49 т/га, сухого вещества – 20,6–23,6 т/га, относятся к среднеспелой

группе созревания, продолжительность периода «всходы – полная спелость» составляет 103–104 дня. Растения высокорослые (213–265 см), имеют хорошую облиственность (10–14 листьев на растении), высокую площадь листовой поверхности (332–389 см²). Содержание сахаров в соке стеблей данных образцов составило 6,0–12,0 %.



Примечание. Урожайность зеленой массы $HCP_{05} = 4,4$ т/га, урожайность сухого вещества $HCP_{05} = 2,7$ т/га, вегетационный период $HCP_{05} = 3$ дн.

Рис. 2. Характеристика перспективных гибридов сорго сахарного (2021–2023 гг.)
Fig. 2. Characteristics of promising sweet sorghum hybrids (2021–2023)

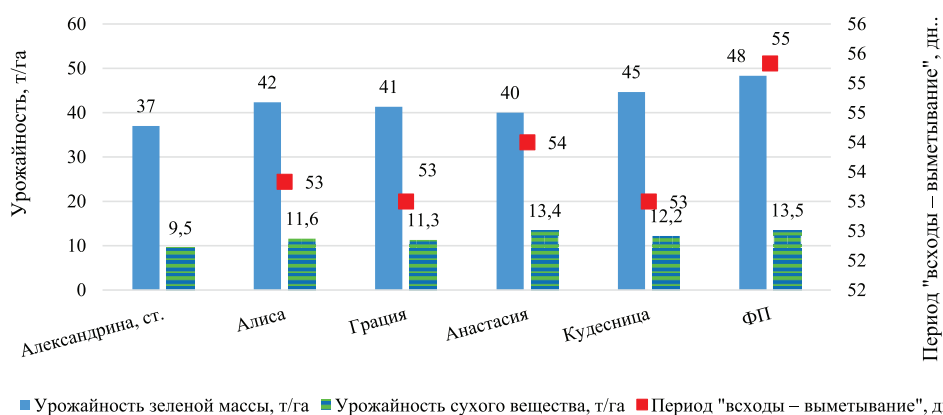
Гибрид Дуэт (АПВ-1115 х Орфей) передан на государственное сортоиспытание с 2024 года. Рекомендуются для использования на зеленый корм и силос в Центрально-Черноземном, Северо-Кавказском и Нижневолжском регионах России.

Гибридизация на фертильной основе.

1. Для ускорения селекционного процесса при подборе родительских пар в коллекционном питомнике на основе многолетних исследований выделены источники и доноры

ценных признаков. Так, выделены источники раннеспелости, высокой облиственности, сочностебельности, холодостойкости, тонкостебельности, высокого содержания сахаров, протеина, сухого вещества и т.д. (Романюкин и др., 2021).

С использованием гибридизации созданы практически все сорта селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Среди них выделены лучшие, приведенные на рис. 3 и 4.



Примечание. Урожайность зеленой массы $HCP_{05} = 3,3$ т/га, урожайность сухого вещества $HCP_{05} = 1,7$ т/га, период «всходы–выметывание» $HCP_{05} = 2$ дн. На рис. всходы-выметывание заменить на «всходы – выметывание»

Рис. 3. Характеристика перспективных сортов суданской травы (2021–2023 гг.)
Fig. 3. Characteristics of promising Sudan grass varieties (2021–2023)

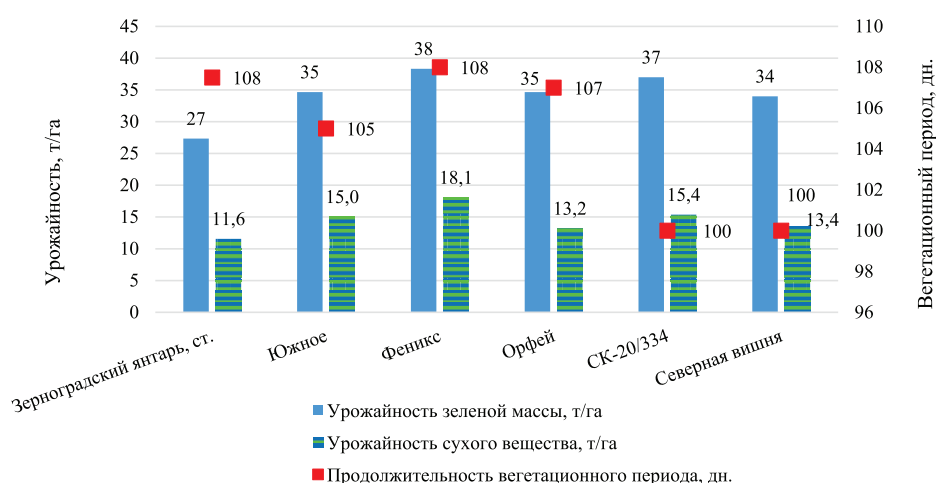
Выделенные сорта суданской травы с урожайностью зеленой массы в сумме за 2 укоса

40–48 т/га, сухого вещества 11,3–13,4 т/га относятся к среднеранней группе созревания.

Продолжительность периода «всходы–выметывание» 53–55 дней, «1–2 укос» – 53–57 дней, «всходы–полная спелость» – 96–99 дней. Высота растений ко времени уборки зеленой массы составляла у них 240–270 см, площадь листа – 81–99 см².

В Государственный реестр селекционных достижений РФ внесены 4 сорта селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской»: Александрина (2007 г.), Анастасия (2010 г.), Алиса (2019 г.) и Грация (2020 г.). Сорт Кудесница проходит Государственное сортоиспытание с 2023 года. Они рекомендуются для возделывания на зеленый корм, сено, сенаж.

Новые сорта сорго сахарного позволяют получать зеленую массу на силос с конца августа и сохраняются зелеными до наступления морозов. Урожайностью зеленой массы на силос у них составляла 34–38 т/га, сухого вещества 13,2–18,1 т/га. Продолжительность вегетационного периода у выделенных сортов варьировала в пределах 100–108 дней (средне-спелая группа созревания), площадь листовой поверхности – 253–362 см², содержание сахаров в соке стеблей – 7,5–14,5 %. Данные сорта являются хорошо облиственными (10–12 шт.), со средней кустистостью (2–3 стебля на растении) (рис. 4).



Примечание. Урожайность зеленой массы $HCP_{05} = 3,4$ т/га, урожайность сухого вещества $HCP_{05} = 3,3$ т/га, вегетационный период $HCP_{05} = 3$ дн.

Рис. 4. Характеристика перспективных сортов сорго сахарного (2021–2023 гг.)

Fig. 4. Characteristics of promising sweet sorghum varieties (2021–2023)

Среди них следует выделить сорта Южное, Феникс, допущенные к использованию с 2021 года. Сорт Орфей передан на государственное сортоиспытание с 2024 года. Сорта рекомендуются для использования на зеленый корм и силос в Центрально-Черноземном, Северо-Кавказском и Нижневолжском регионах России.

Выводы.

1. В результате гибридизации на стерильной основе создан ряд сорго-суданковых гибридов (Джетта х Кудесница, АПВ-1115 х Тополина, АПВ-1115 х ФП, Добрыня, Гордей) и гибридов сорго сахарного (АПВ-115 х Южное, Джетта х Северная вишня, Дуэт), позволяющих

получать урожайность зеленой массы 51–63 и 47–49 т/га, что выше стандарта на 5–17 т/га (10,8–37,0 %) и 5–7 т/га (11,9–16,7 %) соответственно.

2. С использованием межсортовой гибридизации созданы практически все сорта селекции ФГБНУ «АНЦ «Донской». Среди них сорта суданской травы Алиса, Грация, Анастасия, Кудесница, ФП и сорта сорго сахарного Южное, Феникс, Орфей, СК-20/334, Северная вишня с урожайностью зеленой массы 40–48 и 34–38 т/га, что выше стандартных сортов на 3–11 т/га (8,1–29,7 %) и на 7–11 т/га (25,9–40,7 %) соответственно.

Библиографические ссылки

- Беседа Н.А., Лушпина О.А., Ковтунов В.В., Горпиниченко С.И. Проблемы и результаты по селекции сорго зернового // Зерновое хозяйство России. 2010. № 6. С. 49–51.
- Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Альянс, 2014. 351 с.
- Ермолина Г.М., Ковтунова Н.А., Романюкин А.Е., Шишова Е.А. Региональные особенности селекции суданской травы // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4. С. 16–20.
- Кибальник, О.П. Использование эффекта гетерозиса в селекции сорго // Вестник НГАУ. 2019. № 2(51). С. 15–24. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24
- Ковтунова Н.А. Эффект гетерозиса у гибридов сорго на основе цитоплазматической мужской стерильности // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 7. С. 39–44. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_39

6. Романюкин А.Е., Ковтунов В.В., Ковтунова Н.А., Шишова Е.А. Исходный материал для создания сортов и гибридов сорго сахарного // Зерновое хозяйство России. 2021. № 2(74). С. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-3-10
7. Филенко Г.А., Марченко Д.М., Скворцова Ю.Г., Кравченко Н.С., Фирсова Е.В. Урожайные, сортовые и посевные качества семян озимой пшеницы в зависимости от репродукции // Зерновое хозяйство России. 2019. № 1(61). С. 10–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-10-13
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. Юдин В.Н., Болдырева Л.Л., Бритвин В.В. Исследование самоопыленных форм сорго сахарного как исходного материала для создания гибридов в условиях Крыма // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 97. С. 150–154. DOI: 10.21515/1999-1703-97-150-154
10. Abreha K.B., Enyew M., Carlsson A.S., Vetukuri R.R., Feyissa T., Motthaodi T., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // Planta. 2021. Vol. 255, DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7
11. Asadi M., Eshghizadeh H.R. Comparison of Growth Responses in Sorghum Genotypes and Corn Grown in Arid Regions Under Different Levels of Water and Nitrogen Supplies // Acta Agrobotanica. 2020. Vol. 73, Iss. 4. P. 272–278. DOI: 10.5586/aa.7342
12. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply // Agricultural Sciences. 2021. Vol. 13, P. 81–86. DOI: 10.22620/agrisci.2021.31.012
13. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Samokish N. V. Evaluation of the quality of sweet sorghum fodder // Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2022. Vol. 53, № 5. P. 1184–1189. DOI: 10.36103/ijas.v53i5.1632
14. Vozhzhova N.N., Ionova E.V., Popov A.S., Kovtunov V.V. Identification of Fertility Gene Rf1 in Collection Samples of Sorghum bicolor (L.) Moench in Southern Russia // Biology and Life Sciences Forum. 2021. Vol. 4, № 1. Article number: 81. DOI: 10.3390/IECPS2020-08710
15. Zeru Y., Chang J. Genetic Diversity and Estimation of Heterosis of Sorghum (Sorghum Bicolor L. Moench) Varieties and their Hybrids for Grain Yield and other Traits at, Baoding, Hebei Province, China // International Journal of Agriculture Innovations and Research. 2020. № 8. P. 2319–1473.
16. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurtov A. Productivity of sudan grass and sorghum-sudangrass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardino-Balkarian Republic // E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262, Article number: 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201012

References

1. Beseda N.A., Lushpina O.A., Kovtunov V.V., Gorpichenko S.I. Problemy i rezul'taty po selektsii sorgo zernovogo [Problems and results in grain sorghum breeding] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2010. № 6. S. 49–51.
2. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoi obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Methodology of a field trial (with the basics of statistical processing of the study results)]. 5-e izd., pererab. i dop. M.: Al'yans, 2014. 351 s.
3. Ermolina G.M., Kovtunova N.A., Romanyukin A.E., Shishova E.A. Regional'nye osobennosti selektsii sudanskoi travy [Regional features of Sudan grass breeding] // Agrarnyi vestnik Urala. 2017. № 4. S. 16–20
4. Kibal'nik O.P. Ispol'zovanie efekta geterozisa v selektsii sorgo [Use of the heterosis effect in sorghum breeding] // Vestnik NGAU. 2019. № 2 (51). S. 15–24. DOI: 10.31677/2072-6724-2019-51-2-15-24
5. Kovtunova N.A. Effekt geterozisa u gibridov sorgo na osnove tsitoplazmaticheskoi muzhskoi steril'nosti [The heterosis effect in sorghum hybrids based on cytoplasmic male sterility] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023. T. 37, № 7. S. 39–44. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_7_39
6. Romanyukin A.E., Kovtunov V.V., Kovtunova N.A., Shishova E.A. Iskhodnyi material dlya sozdaniya sortov i gibridov sorgo sakharnogo [Initial material for developing sweet sorghum varieties and hybrids] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2021. № 2(74). S. 3–10. DOI: 10.31367/2079-8725-2021-74-2-3-10
7. Filenko G.A., Marchenko D.M., Skvortsova Yu.G., Kravchenko N.S., Firsova E.V. Urozhainye, sortovye i posevnye kachestva semyan ozimoi pshenitsy v zavisimosti ot reproduksii [Productive, varietal, and sowing qualities of winter wheat seeds depending on reproduction] // Zernovoe khozyaistvo Rossii. 2019. № 1(61). S. 10–13. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-61-1-10-13
8. Shishova E.A., Kovtunov V.V., Kovtunova N.A. Podbor roditel'skikh par i izuchenie novykh sorgo-sudankovykh gibridov [Selection of parent 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. Yudin V.N., Boldyreva L.L., Britvin V.V. Issledovanie samoopylenykh form sorgo sakharnogo kak iskhodnogo materiala dlya sozdaniya gibridov v usloviyakh Kryma [Study of self-pollinated forms of sweet sorghum as an initial material for developing hybrids in the Crimea] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022. № 97. S. 150–154. DOI: 10.21515/1999-1703-97-150-154
10. Abreha K.B., Enyew M., Carlsson A.S., Vetukuri R.R., Feyissa T., Motthaodi T., Geleta M. Sorghum in dryland: morphological, physiological, and molecular responses of sorghum under drought stress // Planta. 2021. Vol. 255, DOI: 10.1007/s00425-021-03799-7
11. Asadi M., Eshghizadeh H.R. Comparison of Growth Responses in Sorghum Genotypes and Corn Grown in Arid Regions Under Different Levels of Water and Nitrogen Supplies // Acta Agrobotanica. 2020. Vol. 73, Iss. 4. P. 272–278. DOI: 10.5586/aa.7342

12. Bazitov R., Enchev S. Productivity and chemical composition of green biomass from Sudan grass, grown as a second crop, with optimal and insufficient water supply // *Agricultural Sciences*. 2021. Vol. 13, P. 81–86. DOI: 10.22620/agrisci.2021.31.012
13. Kapustin S.I., Volodin A.B., Kapustin A.S., Samokish N.V. Evaluation of the quality of sweet sorghum fodder // *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 2022. Vol. 53, № 5. P. 1184–1189. DOI: 10.36103/ijas.v53i5.1632
14. Vozhzhova N.N., Ionova E.V., Popov A.S., Kovtunov V.V. Identification of Fertility Gene Rf1 in Collection Samples of Sorghum bicolor (L.) Moench in Southern Russia // *Biology and Life Sciences Forum*. 2021. Vol. 4, № 1. Article number: 81. DOI: 10.3390/IECPS2020-08710
15. Zeru Y., Chang J. Genetic Diversity and Estimation of Heterosis of Sorghum (Sorghum Bicolor L. Moench) Varieties and their Hybrids for Grain Yield and other Traits at, Baoding, Hebei Province, China // *International Journal of Agriculture Innovations and Research*. 2020. № 8. P. 2319–1473
16. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurtov A. Productivity of sudan grass and sorghum-sudangrass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardino-Balkarian Republic // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 262, Article number: 01012. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201012

Поступила: 17.01.24; доработана после рецензирования: 05.02.24; принята к публикации: 05.02.24.

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. – концептуализация исследований, подготовка рукописи, закладка и выполнение полевых опытов по сорго кормовому; Ковтунов В.В. – концептуализация исследований, подготовка рукописи; Романюкин А.Е. – анализ данных, подготовка данных; Шишова Е.А. – составление и анализ табличного материала, подготовка рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.