Научная статья
УДК 633.62
EDN NRMPKI
https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-16-28

Использование стерильной цитоплазмы А2 в селекции гибридов F1 сахарного сорго

Оксана Павловна Кибальник
Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратовская область, Саратов, Россия, kibalnik79@yandex.ru

Аннотация. Одной из перспективных культур с многоцелевым использованием в различных отраслях агропромышленного комплекса считается сахарное сорго. Создание гибридов на основе разных источников стерильности позволит расширить генетическое разнообразие и повысить продуктивность биомассы за счет эффекта гетерозиса. Целью исследований являлось изучение гибридов сахарного сорго на основе цитоплазмы А2 по основным селекционным признакам. Испытание гибридов в сравнении с сортами-стандартами Волжское 51, Флагман проводилось в течение 2022–2024 гг. на опытном поле Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы. Гибриды первого поколения получены с участием ЦМС-линий А2 КВВ114, А2 Чайка (материнская форма) и сортообразцов к-64, к-10832, к-54, к-5529, к-581 (отцовская форма) из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова. Исследования показали, что выделенные гибриды А2 КВВ 114/к-10832 и А2 КВВ 114/к-54 рекомендуются для изготовления сочных кормов, благодаря мощному развитию листового аппарата (верхний и средний ярус), урожайности биомассы и среднему содержанию сахаров в соке стебля. Преимущество над сортами-стандартами выявлено в пределах от 7,8 до 67,9 % по ряду основных селекционных признаков (высота растений при созревании, площадь флагового листа, количество листьев, урожайность биомассы). Кроме того, у гибрида А2 КВВ 114/К-54 отмечено превышение над стандартами Волжское 51, Флагман по площади наибольшего листа, составившее от 43,0 до 72,4 %. Таким образом, результаты научной работы свидетельствуют о целесообразности вовлечения стерильной цитоплазмы типа А2 в селекционные программы по выведению продуктивных гибридов сахарного сорго.

Ключевые слова: сорго, гибрид, урожайность, биомасса, селекционные признаки

Финансирование: работа выполнена в рамках федерального бюджетного финансирования государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (2022 г. – № 082–00084–22–00; 2023 г. – № 082–00205–23–00; 2024 г. – № 082–00266–24–00).

Для цитирования: Кибальник О. П. Использование стерильной цитоплазмы А2 в селекции гибридов F1 сахарного сорго // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 16–28. https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-16-28.

Original article

The use of sterile A2 cytoplasm in breeding of hybrids F1 of sugar sorghum

Oksana P. Kibalnik
Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn
Saratov region, Saratov, Russian Federation, kibalnik79@yandex.ru

Abstract. One of the promising crops with multipurpose use in various branches of the agro-industrial complex is considered to be sugar sorghum. The creation of hybrids based on dif-

ferent sources of sterility will expand their genetic diversity and increase biomass productivity due to the effect of heterosis. The aim of the research was to study sugar sorghum hybrids based on A2 cytoplasm according to the main breeding characteristics. Hybrids were tested in comparison with the standard varieties Volzhskoye 51, Flagman during 2022–2024 at the experimental field of the Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn. Hybrids of the first generation were obtained with the participation of CMS-lines A2 KVV114, A2 Chaika (female form) and cultivars k-64, k-10832, k-54, k-5529, k-581 (paternal form) from the collection of the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. Studies have shown that the isolated hybrids A2 KVV 114/k-10832 and A2 KVV 114/k-54 are recommended for use as succulent feeds due to the powerful development of the leaf apparatus (upper and middle tier), biomass yield and average sugar content in the stem juice. The advantage over standard varieties was revealed in the range of 7.8–67.9% for a number of basic breeding characteristics (plant height at maturity, flag-leaf area, number of leaves, biomass yield). In addition, the A2 KVV 114/k-54 hybrid had an excess over the standards of Volzhskoye 51, Flagman in terms of the largest leaf area, which ranged from 43.0 to 72.4%. Thus, the results of the scientific work indicate the expediency of involving sterile cytoplasm of A2 type in breeding programs for the breeding of productive hybrids sugar sorghum.

Keywords: sorghum, hybrid, yield, biomass, breeding characteristics

Funding: the work was carried out within the framework of financing of the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (2022 – No. 082–00084–22–00; 2023 – No. 082–00205–23–00; 2024 – No. 082–00266–24–00).

For citation: Kibalnik O. P. The use of sterile A2 cytoplasm in breeding of hybrids F1 of sugar sorghum. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik.* 2024;18;4:16–28. (in Russ.). https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-16-28.

Введение. Сорго (*Sorghum Moench*) является одной из древнейших сельскохозяйственных культур в мировом земледелии африканского происхождения (Судан и Эфиопия). С древних времен культивируется в Китае и Индии (вторичный центр распространения), а в настоящее время – в Северной и Южной Америке, Австралии, в ряде европейских стран, странах СНГ.

Благодаря интродукции сорго в новые регионы возделывания, произошло улучшение селекционных признаков: культура стала более продуктивной и скороспелой, чем на родине. В результате сорго занимает большие площади во вторичных центрах выращивания. В России сорго начали возделывать на территории Хабаровского и Приморского краев. В Европейскую часть России сорго было впервые завезено из Маньчжурии на Северный Кавказ в XVIII в. [1, С. 281–286]. В данный момент достижения селекции позволяют выращивать его и в более северных районах страны.

Направления селекции сорго связаны с разнообразным использованием этой культуры в отраслях агропромышленного комплекса. В этой связи главный акцент в селекции сахарного сорго ставится на создание новых высокопродуктивных сортов и гибридов с улучшенным качеством биомассы, предназначенных на зеленый корм, силос, комплексно устойчивых к неблагоприятным факторам среды, с высоким уровнем адаптации к выращиванию в засушливых регионах. Также селекция ведется на увеличение содержания водорастворимых сахаров с целью использования сортов на пищевые или технические цели.

Актуальность использования зеленой массы сахарного сорго заключается в ее энергетической и питательной ценности, не уступающей по своим свойствам кукурузе [2, С. 305]. Биомасса сахарного сорго используется на корм в виде сена, силоса, сенажа, фуража, монокорма, брикетов [3, С. 1].

Уникальность данного растения позволяет использовать его как сахаронос, так как сорго накапливает в соке стебля при физиологической спелости от 10 до 25 % водорастворимых сахаров [4, С. 1670–1679]. В засушливых регионах РФ, где проблемы с влагообеспечением обстоят чрезвычайно остро с каждым годом, сорта с содержанием сахаров в соке стеблей 15,0–17,0 % могут обеспечить получение пищевого сахара до 3–4 т/га. Сахар сока стеблей представлен в основном смесью глюкозы, фруктозы и сахарозы.

Эта особенность исключительно ценна для жаркого и сухого климата в районах, где получение сахара из сахарной свеклы проблематично [5, С. 12].

Кроме того, сахарное сорго рассматривается в качестве перспективного потенциального источника топлива, благодаря следующим отличительным биологическим особенностям: генотипическое разнообразие; высокая эффективность фотосинтеза для преобразования солнечной энергии в биомассу, так как это растение с С4-типом фотосинтеза; высокая эффективность использования воды; высокая адаптация к стрессовым условиям при выращивании на маргинальных землях [6, С. 1899–1900; 7].

Селекционную работу ведут российские и зарубежные учреждения, в том числе Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго». В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, размещено 50 сортов и 8 гибридов первого поколения. Большинство сортов и гибридов районировано по Северо-Кавказскому (всего 25) и Нижневолжскому (всего 22) регионам. Также выведены сорта и гибриды для возделывания в Средневолжском (всего 8), Уральском (всего 6), Западно-Сибирском (всего 3) и Дальневосточном (всего 4) регионах Российской Федерации [8, С. 70].

Для получения высокогетерозисных коммерческих гибридов в селекции сорго используется цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС). У сорго ЦМС обусловлена взаимодействием одного рецессивного гена отцовского компонента с цитоплазмой материнского. В настоящее время существует порядка десяти цитоплазматических источников, отличающихся друг от друга [9, С. 2–3]. Однако, представленные в Государственном реестре гибриды созданы на стерильной цитоплазме типа А1. Наличие разных источников стерильности позволит выделить альтернативные традиционному типу цитоплазмы и включить их в селекционный процесс, что является актуальным.

Целью исследований *выступает изучение гибридов сахарного сорго на основе цитоплазмы А2 по основным селекционным признакам.*

Материалы и методы исследований. Материалом исследований являются родительские формы и гибриды. Гибриды первого поколения были получены на основе ЦМС-линий А2 КВВ114, А2 Чайка; в качестве отцовских форм в скрещивание вовлекались сортообразцы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (к-64, к-10832, к-54, к-5529, к-581).

Всего в течение 2022–2024 гг. проходили испытания 7 гибридов сахарного сорго. В качестве стандартов использовали два районированных по Нижневолжскому региону РФ сорта Волжское 51, Флагман [8, С. 70] (рис. 1).

Волжское 51 в фазу начало цветения
Volzhskoe 51 in the beginning of flowering phase

Флагман в фазу уборочной спелости
Flagman in the harvest ripeness phase

Рисунок 1 – Сорта-стандарты
Figure 1 – Standard varietys

Сорт Волжское 51 рекомендуется для получения зеленого корма, силоса, сенажа, а также получения из сока стеблей или кормовой массы различной сахаросодержащей продукции. Продолжительность периода от всходов до полной спелости зерна до 115 дней. Урожайность зеленой массы – 22,6–29,5 т/га. Высота растения – 197–232 см. В стеблях содержится 16,3–17,2 % сахаров. Теоретический выход сахаров достигает 2,12 т/га. Семенная продуктивность – 1,4–2,1 т/га, масса 1 000 семян – 22,4 г.

Данный сорт устойчив к болезням и вредителям. Способ посева широкорядный с междурядьем 70 или 45 см. Оптимальная густота стояния составляет 150–170 тыс. растений/га. Весовая норма высева – 8–10 кг/га всхожих семян.

Сорт Флагман является среднеранним. Предназначен для использования на зеленый корм, сенаж, силос, а также на пищевые цели для получения сока, сиропа, спирта. Продолжительность вегетационного периода 110–120 дней. Урожайность зеленой массы – 15,0–20,0 т/га. Растения хорошо облиственные, высотой до 180–190 см. Кустистость средняя и составляет 3–4 стебля на одно растение. В стеблях содержится 17–18 % сахаров. Теоретический выход сахаров – 1,26–1,39 т/га.

Данный сорт среднеустойчив к полеганию. Сорт засухоустойчив. Семенная продуктивность составляет 1,2–1,5 т/га. Масса 1 000 семян – 25,6 г. Посев на все цели использования ведется широкорядным способом с междурядьем 70 см. Оптимальная густота стояния растений при возделывании на зеленый корм равна 150–200, на силос – 100–120 тыс./га. Весовая норма высева составляет соответственно 12–14 и 8–10 кг/га всхожих семян.

Агротехника выращивания – зональная, разработанная научными учреждениями Нижнего Поволжья [10, С. 3–30]. Предшественником являлся черный пар. Весной перед посевом по мере созревания почвы участок бороновали в два следа, до посева проводили две культивации. Посев образцов сахарного сорго и стандартов выполнен 18–19 мая селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10 широкорядным способом с шириной междурядий 70 см.

Закладка делянок и оценка основных селекционных признаков осуществлена согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [11, С. 55–57]. Площадь делянок в питомниках оценки гибридов и исходного материала составила 7,7 м^2. Повторность опыта трехкратная. Густоту стояния растений корректировали вручную (в пределах 100–150 тыс. растений/га). По мере отрастания сорняков междурядья культивировали.

Обработка экспериментальных данных выполнена методом дисперсионного анализа с применением компьютерной программы Агрос 2.09.

Климатические условия в период проведения исследований. Климат Саратовской области резко континентальный с частым проявлением почвенных и воздушных засух. Температурный режим и условия влагообеспеченности неоднородны. Количество осадков за год варьирует от 250 до 450 мм. Ресурсы тепла за период вегетации сорговых культур достигают от 2 400 до 3 100 °С. При этом наибольшие среднесуточные температуры воздуха (21,0–21,7 °С) и количество выпавших осадков (51 мм) наблюдаются в июле (рис. 2).

Метеорологические условия в течение периода исследований отличались от среднемноголетних показателей. Так, среднемесячная температура воздуха мая 2022 г. оказалась на 3,4 °С ниже среднемноголетнего показателя, а в августе ее превышение составило 4,1 °С. В 2023 г. наблюдалось снижение средней температуры воздуха до 18,3 °С в июне; вегетация растений сорго в июле происходила в условиях повышения температуры воздуха до 22,0 °С; средние показатели температуры воздуха августа (когда у сорго отмечается прохождение фаз выметывания и цветения) оказались выше среднемноголетних на 2,8 °С. Весна 2024 г. оказалась по температурному режиму схожей с условиями 2022 г. В июне, июле и сентябре отмечалось повышение температуры воздуха до 23,2 °С, 25,0 °С и 17,0 °С соответственно (рис. 3).

Также условия 2022 г. характеризовались обильным выпадением осадков в июле (73,5 мм), тогда как их среднемноголетнее количество равно 51,0 мм. Незначительное выпадение осадков отмечено в августе – 12,6 мм (рис. 4).

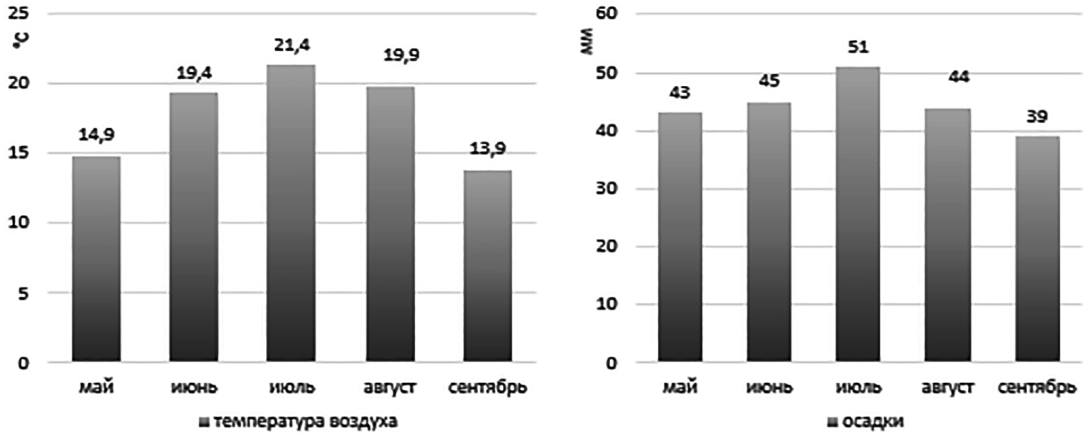

Рисунок 2 – Среднемноголетние показатели климатических условий региона
Figure 2 – Average long-term indicators of the climatic conditions of the region

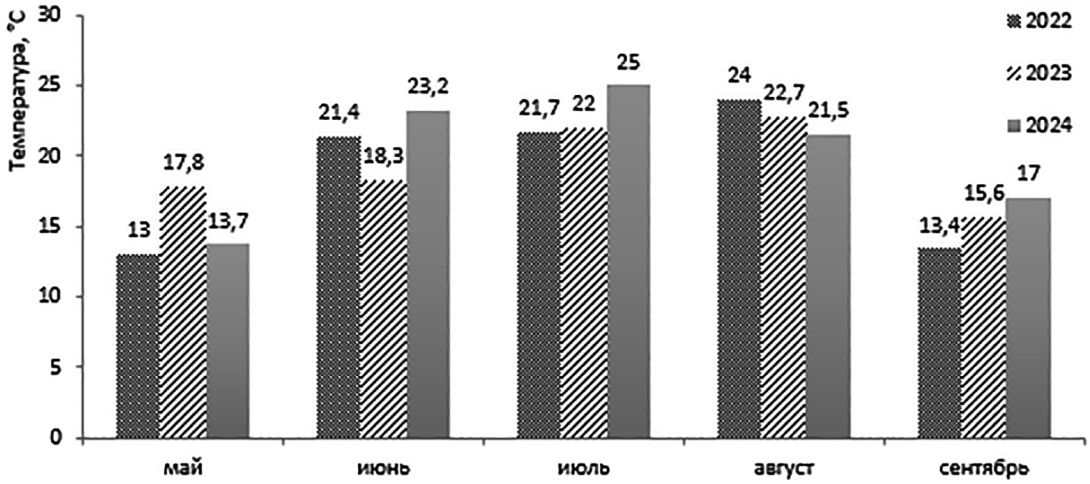

Рисунок 3 – Среднемесячная температура воздуха в течение вегетации сорго, 2022–2024 гг.
Figure 3 – Average monthly air temperature during the sorghum growing season, 2022-2024

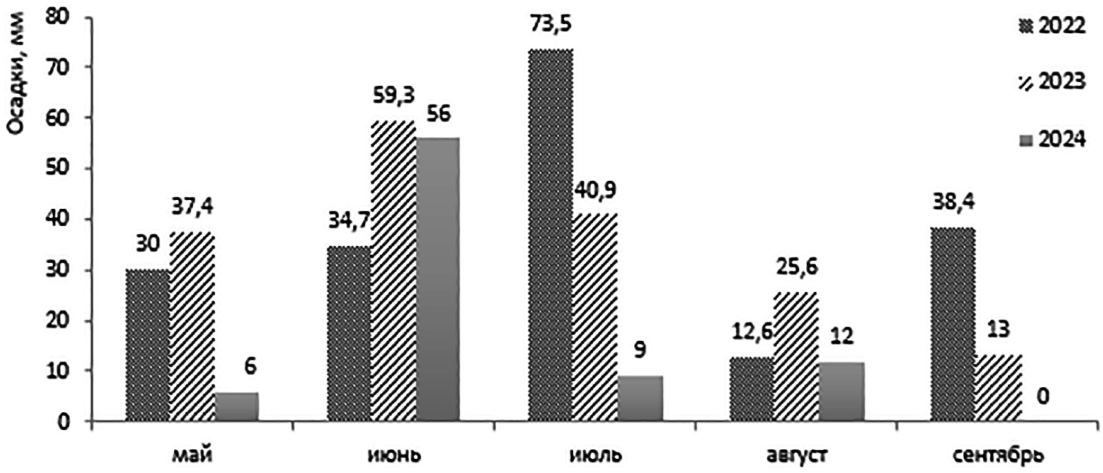

Рисунок 4 – Количество осадков в течение вегетации сорго, 2022–2024 гг.
Figure 4 – Precipitation during the growing season of sorghum, 2022–2024

Отличительными особенностями вегетационного периода сорго 2023 г. являлись: период посева проходил в условиях оптимального для данной зоны температурного режима при выпадении осадков выше среднемноголетних показателей на 13,3 мм; период «кущения – начало трубкования» растений (июнь) характеризовался обильными осадками, составившими 59,3 мм. Рост и развитие растений в 2024 г. проходило в более засушливых условиях: в мае количество осадков составило 6 мм; июле – 9 мм; августе – 12 мм и только в июне их выпало 56 мм.

Результаты исследований и их обсуждение. Как известно, на суммарную продуктивность фотосинтеза оказывают влияние параметры листовой пластинки [12, С. 137]. Поэтому в селекции сорго определяют показатели «площадь наибольшего и флагового листьев». Кроме того, между площадью листовой поверхности и урожайностью биомассы отмечена средняя корреляционная зависимость [13, С. 129].

В проведенных нами исследованиях гибрид А2 КВВ 114/к-54 по признаку «площадь наибольшего листа» превысил на 43,0 % сорт Флагман, а на уровне стандарта оказались образцы: А2 Чайка/к-64, А2 КВВ 114/к-64, А2 КВВ 114/к-5529, А2 КВВ 114/к-581. Величина признака в среднем за 2022–2023 гг. составила 301,3 и 210,1–251,6 см соответственно. Причем, в среднем по группе изучаемых образцов более высокие показатели площади наибольшего листа достигали в условиях 2023 г. – 234,5 см (табл. 1).

Гибриды различались и по площади флагового листа. Величина признака варьировала от 127,8 до 190,1 см^2, тогда как у сортов стандартов – 99,6–122,1 см^2. Наибольшее превышение признака над сортами оказалось у гибридов на основе материнской формы А2 Чайка и отцовских форм к-581, к-64 – 50,0–91,0 %. Формирование мощной листовой пластинки флагового листа у данных гибридов наблюдалось ежегодно (169,8–197,6 см^2). Кроме того, изучаемые образцы достигали более значительных размеров флагового листа в условиях 2022 г. по сравнению с 2023 г.

По количеству листьев выделились следующие гибриды: А2 КВВ 114/к-10832 и А2 КВВ 114/к-54. В среднем за два года испытаний их количество на растении составило 13,9–14,1 штук (табл. 1).

Оценка гибридов F1 по высоте при созревании проводится с целью определения технологичности образца. Также этот показатель является элементом урожайности биомассы. По данному признаку гибрид А2 КВВ 114/к-10832 превысил сорт Волжское 51 на 22,4 % и сорт Флагман на 17,5 %. Остальные гибриды оказались на уровне сортов-стандартов. Величина признака составила в пределах 179,6–208,7 см и 186,0–193,7 см соответственно. Причем, в среднем по группе изучаемых образцов наибольшей высоты растения достигали в условиях 2023 г. – 210,9 см (табл. 2). Следует отметить, что ранее индийскими исследователями было установлено положительное влияние цитоплазмы А2 на высоту гибридов сорго [14, С. 8].

Гибриды сахарного сорго характеризовались в основном одностебельностью: общая кустистость составила 1,1–1,5 побегов на одном растении, тогда как у сортов Волжское 51 и Флагман – 1,7–1,8 (табл. 2). Следует отметить, что кустистость гибрида А2 КВВ 114/к-581 выросла до 1,9 побегов на одном растении в 2023 г. Очевидно, выпадение большего количества осадков (59,3 мм) по сравнению с 2022 г. (34,7 мм) способствовало формированию дополнительных побегов.

По урожайности биомассы достоверно превысил оба сорта-стандарта гибрид А2 КВВ 114/к-54. При этом преимущество над сортом Волжское 51 составило 14,2 т/га (56,2 %); над сортом Флагман – 15,9 т/га (7,4 %). Также выделился гибрид А2 КВВ 114/к-10832, который в среднем за анализируемый период сформировал 31,0 т/га биомассы и значимо превысил по этому показателю сорт Флагман – 7,4 т/га (31,4 %). Существенное превышение гибридов сахарного сорго над сортами выявлено многими исследователями [15, С. 76].

Анализ урожайности в среднем по группе изучаемых образцов выявил более высокую продуктивность надземной биомассы в условиях 2023 г. – 29,6 т/га. Аналогичную тенденцию наблюдают и другие исследователи [15, С. 76].

Содержание водорастворимых сахаров варьировало у гибридов в пределах 7,7–14,0 %, а у сортов – от 11,0 до 12,5 %.

Таблица 1 – Оценка гибридов F1 по площади листьев и их количеству, 2022–2023 гг.
Table 1 – Evaluation of F1 hybrids by leaf area and number, 2022–2023

Сорт, гибрид	Наибольший, см²			Флаговый, см²			Количество листьев, шт.		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
А2 КВВ 114/к-64	266,8 cd	197,8 ab	**232,3 a-d**	160,8 a-d	148,0 cd	**154,4 bcd**	9,1 ab	8,6 a	**8,9 ab**
А2 КВВ 114/к-10832	100,1 a	236,0 bcd	**168,0 a**	200,9 d	98,0 ab	**151,1 bcd**	13,8 cd	14,4 c	**14,1 d**
А2 КВВ 114/к-54	361,1 e	241,5 bcd	**301,3 d**	113,6 a	205,6 f	**159,6 bcd**	14,6 d	13,2 bc	**13,9 cd**
А2 КВВ 114/к-5529	226,7 bc	257,7 cd	**242,2 a-d**	135,7 a-d	120,7 bc	**128,2 ab**	8,2 ab	8,6 a	**8,4 ab**
А2 КВВ 114/к-581	217,7 bc	285,5 d	**251,6 bcd**	120,1 a	135,6 cd	**127,8 ab**	7,2 a	8,4 a	**7,8 a**
А2 Чайка/к-64	145,1 ab	275,0 d	**210,1 abc**	197,6 cd	182,7 ef	**190,1 d**	7,5 a	8,3 a	**7,9 ab**
А2 Чайка/к-581	331,1 de	247,1 bcd	**289,1 cd**	194,6 bcd	169,8 de	**182,2 cd**	9,6 b	8,7 a	**9,1 b**
Волжское 51 (st)	190,2 abc	159,4 a	**174,8 ab**	113,4 a	85,7 a	**99,6 a**	8,7 ab	8,5 a	**8,6 ab**
Флагман (st)	210,2 bc	210,2 bc	**210,8 abc**	113,8 a	130,5 bc	**122,1 ab**	8,3 ab	8,4 a	**8,4 ab**
Среднее	**227,7**	**234,5**	–	**150,1**	**141,9**	–	**9,7**	**9,7**	–
F_{05}	7,73*	6,63*	3,26*	3,66*	12,71*	3,55*	19,30*	26,32*	40,71*
$НСР_{05}$	89,33	46,15	72,57	60,77	32,91	44,59	1,82	1,38	1,11

* $p \leq 0,05$. Данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой при $p \leq 0,05$ в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана.

Таблица 2 – Характеристика гибридов F1 по показателям продуктивности биомассы, 2022–2023 гг.
Table 2 – Characteristics of F1 hybrids in terms of biomass productivity, 2022–2023

Сорт, гибрид	Высота растений, см			Общая кустистость			Урожайность биомассы, т/га		
	2022 г.	**2023 г.**	**среднее**	**2022 г.**	**2023 г.**	**среднее**	**2022 г.**	**2023 г.**	**среднее**
А2 КВВ 114/к-64	175,4 abc	192,9 a	**184,2 ab**	1,3 abc	1,3 a	**1,3 ab**	22,5 a	37,1 de	**29,8 ab**
А2 КВВ 114/к-10832	210,1 d	244,9 c	**227,5 d**	1,2 a	1,1 a	**1,1 a**	28,6 a	33,5 cde	**31,0 b**
А2 КВВ 114/к-54	202,8 cd	214,6 ab	**208,7 cd**	1,1 a	1,3 a	**1,2 a**	40,5 b	38,5 e	**39,5 c**
А2 КВВ 114/к-5529	175,9 abc	218,3 ab	**197,1 abc**	1,1 a	1,3 a	**1,2 a**	25,3 a	30,4 bc	**27,8 ab**
А2 КВВ 114/к-581	153,7 a	205,4 ab	**179,6 a**	1,1 a	1,9 cd	**1,5 bc**	28,6 a	26,0 ab	**27,3 ab**
А2 Чайка/к-64	184,2 a-d	221,6 bc	**202,9 bc**	1,2 a	1,1 a	**1,1 a**	24,1 a	27,8 abc	**26,0 ab**
А2 Чайка/к-581	166,3 ab	216,6 ab	**191,4 abc**	1,1 a	1,1 a	**1,1 a**	25,5 a	27,7 abc	**26,6 ab**
Волжское 51 (st)	181,2 a-d	190,8 a	**186,0 ab**	1,6 c	1,9 bcd	**1,7 cd**	27,2 a	23,3 a	**25,3 ab**
Флагман (st)	194,6 bcd	192,8 a	**193,7 abc**	1,6 bc	2,0 d	**1,8 d**	25,5 a	21,7 a	**23,6 a**
Среднее	**182,7**	**210,9**	–	**1,3**	**1,4**	**–**	**27,5**	**29,6**	**–**
F_{05}	3,72*	4,61*	4,43*	5,19*	12,54*	8,69*	4,54*	9,76*	5,91*
$НСР_{05}$	27,53	24,47	19,99	0,26	0,32	0,26	7,36	5,58	5,48

* $p \leq 0{,}05$. Данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой при $p \leq 0{,}05$ в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана.

Однако существенное превышение гибрида А2 КВВ 114/к-10832 установлено только над сортом Волжское 51. В среднем по образцам количество водорастворимых сахаров в условиях 2023 г. увеличивалось до 12,9 % (табл. 3).

Значительная изменчивость синтеза сахаров в зависимости от климатических условий вегетации сахарного сорго наблюдалась нами и ранее в исследованиях [5, С. 15; 16, С. 162]. При этом к преимуществам гибрида А2 КВВ 114/к-10832 следует отнести стабильное накопление сахаров, не зависимо от складывающихся погодных условий: в 2022 г. – 13,7 %, в 2023 г. – 14,4 %.

В 2024 г. продолжилось изучение содержания сахаров на примере двух гибридных комбинаций – А2 Чайка/к-64 и А2 Чайка/к-581 (рис. 5). Соответствующие гибриды оказались более чувствительными к внешней среде и при значительном снижении осадков, а также среднемесячной температуре воздуха, превышающей среднемноголетние показатели, начиная с периода цветения и до спелости зерна, содержание сахаров в соке стебля увеличивалось до 14,5 и 17,9 % соответственно. Представленные сведения важно учитывать в селекции на повышение сахаристости в соке стебля.

Вместе с тем, сравнение зернового и сахарного сорго показало наличие генотипических особенностей у сахарного образца:

1) накопление большего количества сахарозы (в тканях стебля как до, так и после цветения) в нормальных условиях и в условиях солевого стресса;

2) развитие междоузлий (более тяжелые, сахаристые и сочные междоузлия, в которых большую площадь занимает флоэма и меньшую – ксилема); причем, площадь флоэмы и ксилемы в междоузлиях коррелировала с количеством сахара, накопленного в стебле [7, С. 1913].

Заключение. *Создание и испытание семи гибридов F1 сахарного сорго на основе цитоплазмы типа А2 показало целесообразность ее использования в практической селекции в качестве альтернативного источника стерильности.*

Для применения в производстве сочных кормов (силос, зеленый корм) рекомендуется провести дальнейшее испытание гибридов А2 КВВ 114/К-10832 и А2 КВВ 114/К-54.

Таблица 3 – Содержание сахаров в гибридах F1, 2022–2023 гг.
Table 3 – Sugar content in F1 hybrids, 2022–2023

В процентах (in percent)

Сорт, гибрид	2022 г.	2023 г.	Среднее
А2 КВВ 114/к-64	6,4 a	10,5 ab	**8,4 ab**
А2 КВВ 114/к-10832	13,7 d	14,4 cd	**14,0 f**
А2 КВВ 114/к-54	9,7 bc	14,0 cd	**11,9 def**
А2 КВВ 114/к-5529	8,3 abc	11,9 bc	**10,1 bcd**
А2 КВВ 114/к-581	5,8 a	12,8 bcd	**9,3 abc**
А2 Чайка/к-64	6,3 a	9,1 a	**7,7 a**
А2 Чайка/к-581	6,9 abc	13,6 cd	**10,3 b-e**
Волжское 51(st)	7,5 abc	14,6 cd	**11,0 cde**
Флагман(st)	9,8 c	15,1 d	**12,5 ef**
Среднее	**8,3**	**12,9**	–
F_{05}	7,24*	5,54*	7,30*
$НСР_{05}$	2,78	2,58	2,12

* $p \leq 0,05$. Данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой при $p \leq 0,05$ в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана.

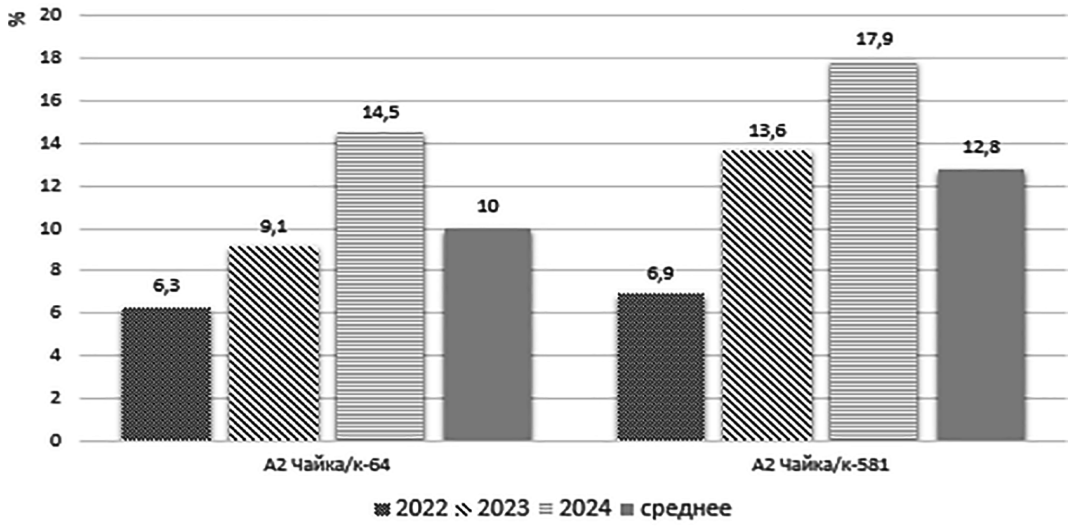

Рисунок 5 – Изменчивость накопления сахаров в соке стебля гибридов сахарного сорго в зависимости от условий вегетации, 2022–2024 гг.

Figure 5 – Variability of sugar accumulation in the stem juice of sugar sorghum hybrids depending on vegetation conditions, 2022–2024

Данные гибриды характеризуются слабой кустистостью и превышением нескольких хозяйственно-ценных признаков над сортами-стандартами Волжское 51 и Флагман:

по высоте растений на 7,8–22,4 %;

площади флагового листа на 23,8–60,3 %;

количеству листьев на 61,7–67,9 %;

урожайности биомассы на 22,6–40,3 %.

Также у гибрида А2 КВВ 114/К-54 отмечены более мощные листья среднего яруса, а преимущество над стандартами по площади наибольшего листа достигло 43,0–72,4 %.

Список источников

1. Алабушев А. В., Шишова Е. А., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М., Горпиниченко С. И. Происхождение сорго и развитие его селекции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 127. С. 281–294. https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017. EDN YLZTVJ.

2. Володин А. Б., Капустин С. И., Саварцев М. А. Новые нетрадиционные источники сырья для производства пищевого и кормового сахара // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 305–308. EDN WEBJJJ.

3. Метлина Г. В., Горпиниченко С. И., Ковтунова Н. А., Васильченко С. А. Агроэнергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго сахарного // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 114. С. 1–10. EDN VHFMKT.

4. Pinnamaneni S. R., Somanna A. K. G., Ramu P., Vanamada J. K. P., Srivastava R. K. Assessment of phenotypic and genotypic diversity in elite temperate and tropical sweet sorghum cultivars // Sugar Technology. 2022. Vol. 24. No. 6. P. 1670–1679. https://doi.org/10.1007/s12355-022-01117-3. EDN NWFCZI.

5. Кибальник О. П., Каменева О. Б. Перспектива использования сахарного сорго для получения сахаросодержащей продукции при возделывании в засушливых регионах // Сахар. 2024. № 3. С. 34–39. https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-3-34-39. EDN WGNAOA.

6. Hao H., Li Zh., Leng Ch., Lu Ch., Luo H., Liu Yu. [et al.]. Sorghum breeding in the genomic era: opportunities and challenges // Theoretical and Applied Genetics. 2021. Vol. 134. P. 1899–1924. https://doi.org/10.1007/s00122-021-03789-z. EDN XIEGQM.

7. Kanbar A., Shakeri E., Alhajturki D., Riemann M., Bunzel M., Morgano M. T. [et al.]. Sweet versus grain sorghum: Differential sugar transport and accumulation are linked with vascular bundle architecture // Industrial Crops and Products. 2021. Vol. 167. P. 113550. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113550. EDN KEUVRX.

8. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию : официальное издание. М. : Росинформагротех, 2024. 70 с.

9. Reddy P. S. Cytoplasmic nuclear male sterility in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) – current status and future prospects // The Journal Research Professor Jayashankar Telangana State Agricultural University. 2018. Vol. 46. No. 1. P. 1–14.

10. Горбунов В. С., Ишин А. Г., Костина Г. И., Колов О. В., Буенков А. Ю., Ефремова И. Г. [и др.]. Приемы повышения эффективности возделывания и переработки продукции сахарного сорго на кормовые и технические цели в условиях Нижнего Поволжья : рекомендации. Саратов, 2009. 31 с.

11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 2 / под ред. В. И. Головочева, Е. В. Кириловской. М. : Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 1989. 194 с.

12. Тысленко А. М., Зуев Д. В. Листовая поверхность сортов яровой тритикале в условиях Владимирской области // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019. № 11–2 (38). С. 134–137. EDN OBHKKS.

13. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е. Ширина листа – маркерный признак высокой урожайности зеленой массы сорго сахарного // Аграрная наука. 2024. № 7. С. 125–129. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-125-129. EDN GPITHZ.

14. Reddy B. V. S., Ramesh S., Reddy P. S., Ramaiah B. Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasms in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) // Euphytica. 2007. Vol. 154. No. 1–2. P. 153–164. https://doi.org/10.1007/s10681-006-9281-6.

15. Володин А. Б., Жукова М. П., Донец И. А., Голубь А. С., Чухлебова Н. С. Оценка продуктивности и хозяйственно-ценных признаков и свойств гибрида сорго сахарного Ярик // Вестник АПК Ставрополья. 2019. № 1 (33). С. 74–77. https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-33-74-77. EDN CPUOKE.

16. Bogapov I., Memeshov S., Kibalnik O., Sagalbekov U. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes assessment for food, fodder and energy values in Northern Kazakhstan // Sabrao Journal of Breeding and Genetics. 2024. Vol. 56. No. 1. P. 156–167. https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.14. EDN JRNDMM.

References

1. Alabushev A. V., Shishova E. A., Romanyukin A. E., Ermolina G. M., Gorpinichenko S. I. Origin of sorghum and development of its breeding. *Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2017;127:281–294. https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017. EDN YLZTVJ (in Russ.).

2. Volodin A. B., Kapustin S. I., Savartsev M. A. New non-traditional sources of raw materials for the production of food and feed sugar. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya,* 2016;12:305–308. EDN WEBJJJ (in Russ.).

3. Metlina G. V., Gorpinichenko S. I., Kovtunova N. A., Vasilchenko S. A. Agro-energy efficiency of cultivation of new varieties and hybrids of sweet sorghum. *Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta,* 2015;114:1–10. EDN VHFMKT (in Russ.).

4. Pinnamaneni S. R., Somanna A. K. G., Ramu P., Vanamada J. K. P., Srivastava R. K. Assessment of phenotypic and genotypic diversity in elite temperate and tropical sweet sorghum cultivars. Sugar Technology, 2022;24;6:1670–1679. https://doi.org/10.1007/s12355-022-01117-3. EDN NWFCZI.

5. Kibalnik O. P., Kameneva O. B. Prospects for the use of sugar sorghum for obtaining sugar-containing products under cultivation in arid regions. *Suhar,* 2024;3:34–39. https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-3-34-39. EDN WGNAOA (in Russ.).

6. Hao H., Li Zh., Leng Ch., Lu Ch., Luo H., Liu Yu. [et al.]. Sorghum breeding in the genomic era: opportunities and challenges. Theoretical and Applied Genetics, 2021;134:1899–1924. https://doi.org/10.1007/s00122-021-03789-z. EDN XIEGQM.

7. Kanbar A., Shakeri E., Alhajturki D., Riemann M., Bunzel M., Morgano M. T. [et al.]. Sweet versus grain sorghum: Differential sugar transport and accumulation are linked with vascular bundle architecture. Industrial Crops and Products, 2021;167:113550. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113550. EDN KEUVRX.

8. *State Register of varieties and hybrids of agricultural plants approved for use,* Moscow, Rosinformagrotech, 2024, 70 p. (in Russ.).

9. Reddy P. S. Cytoplasmic nuclear male sterility in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) – current status and future prospects. The Journal Research Professor Jayashankar Telangana State Agricultural University, 2018;46;1:1–14.

10. Gorbunov V. S., Ishin A. G., Kostina G. I., Kolov O. V., Buenkov A. Yu., Efremova I. G. [et al.]. *Techniques for increasing the efficiency of cultivation and processing of sugar sorghum products for fodder and technical purposes in the conditions of the Lower Volga region: recommendations,* Saratov, 2009, 31 p. (in Russ.).

11. Golovochev V. I., Kirilovskaya E. V. (Eds.). *Methods of state variety testing of agricultural crops.* Issue 2, Moscow, Gosudarstvennaya komissiya po sortoispytaniyu sel'skokhozyaistvennykh kul'tur, 1989, 194 p. (in Russ.).

12. Tyslenko A. M., Zuev D. V. Sheet surface of varieties of spring tritical in the conditions of the Vladimir region. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk,* 2019;11–2(38):134–137. EDN OBHKKS (in Russ.).

13. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E. Leaf width as a marker trait of high productivity of sweet sorghum green mass. *Agrarnaya nauka,* 2024;7:125–129. https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-125-129. EDN GPITHZ (in Russ.).

14. Reddy B. V. S., Ramesh S., Reddy P. S., Ramaiah B. Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasms in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Euphytica, 2007;154;1–2:153–164. https://doi.org/10.1007/s10681-006-9281-6.

15. Volodin A. B., Zhukova M. P., Donets I. A., Golub A. S., Chukhlebova N. S. Assessment of productivity and economic and valuable features and properties of the hybrid sargo sugar Yarik. *Vestnik APK Stavropol'ya,* 2019;1(33):74–77. https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-33-74-77. EDN CPUOKE (in Russ.).

16. Bogapov I., Memeshov S., Kibalnik O., Sagalbekov U. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes assessment for food, fodder and energy values in Northern Kazakhstan. Sabrao Journal of Breeding and Genetics, 2024;56;1:156–167. https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.14. EDN JRNDMM.

Статья поступила в редакцию 23.10.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 27.11.2024.

The article was submitted 23.10.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 27.11.2024.

Информация об авторе

Кибальник Оксана Павловна, *кандидат биологических наук, главный научный сотрудник, отдел сорговых культур, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, ORCID: 0000-0002-1808-8974, SCOPUS: 35776594600, Author ID: 182454, kibalnik79@yandex.ru*

Information about the author

Oksana P. Kibalnik, *Candidate of Biological Sciences, Chief Researcher, Department of Sorghum Crops, Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, ORCID: 0000-0002-1808-8974, SCOPUS: 35776594600, Author ID: 182454, kibalnik79@yandex.ru*