

EDN IBSESC

DOI 10.5281/zenodo.8271957

УДК 633.174:631.527.5

Капустин С. И.<sup>1</sup>, Володин А. Б.<sup>1</sup>, Капустин А. С.<sup>2</sup>

## ХОЗЯЙСТВЕННО ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ НОВЫХ ГИБРИДОВ (F1) СОРГО САХАРНОГО И ИХ РОДИТЕЛЬСКИХ ФОРМ

<sup>1</sup> ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»;

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

**Реферат.** Для интенсификации животноводства на Северном Кавказе особое значение приобретают новые засухоустойчивые гибриды сорго. Цель исследований – изучение источников хозяйственных признаков, перспективных для использования в селекции сахарного сорго, адаптированных к возделыванию в засушливых условиях зоны. Полевые и лабораторные опыты по селекции и испытанию новых гибридов сорго осуществляли на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», расположенном в г. Михайловск Ставропольского края. Задача исследований – используя методы межвидовой и внутривидовой гибридизации получить новые гибриды, повысить их качество и продуктивность. Погодные условия вегетационных периодов 2021–2022 гг. можно охарактеризовать как достаточно благоприятные для роста и развития сорго. В гибридном питомнике F1 высевали 60 гибридов, из которых по сочетанию морфологических свойств, ботанических признаков и элементов структуры урожая выделено 25 новых образцов. В среднем за 2021–2022 гг. самыми раннеспелыми были комбинации, созданные с участием стерильной линии А-3615 и восстановителей фертильности Л-7897, Лиственник, Сахара, Ставропольское 36. Период «всходы-выметывание» у этих форм составил 43–51 дней, что ниже стандарта на 3–11 дней. Самая значительная высота растений получена у комбинаций Зерста 38А × Лиственник (285 см), Княжна × Северное 44 (279 см), А-3615 × Оранжевое (270 см) и др. Высокой облиственностью характеризовались гибриды А-3529 × Крымское (20,0 %) и А-3615 × Галия (18,8 %). Наибольшая масса одного растения (более 600 г) установлена у 10 новых гибридов – А-3529 × Крымское (920 г); Княжна × Северное 44 (873 г) и др. В контроле вес одного растения составил 533 г. Самые высокие показатели уровня гетерозиса в сравнении со средними значениями родительских форм установлены для высоты растений (68–101 %).

**Ключевые слова:** сорго сахарное (*Sorghum saccharatum Pers.*), селекция, гибрид, высота растений, облиственность, содержание сахара, уровень гетерозиса, вес зеленой массы.

**Для цитирования:** Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Хозяйственно ценные признаки новых гибридов (F1) сорго сахарного и их родительских форм // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2(34). С. 61–71. EDN: IBSESC. DOI 10.5281/zenodo.8271957.

**For citation:** Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Economically valuable signs of new *Sorghum saccharatum* hybrids (F1) and their parent forms // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2023. No. 2(34). P. 61–71. EDN: IBSESC. DOI 10.5281/zenodo.8271957.

### Введение

Для интенсификации животноводства на Северном Кавказе и в Поволжье, где засушливость климата вызывает необходимость поиска путей стабилизации

кормопроизводства, особое значение приобретают новые засухоустойчивые линии, сорта и гибриды кормовых культур. Среди них особое важную роль играет сорго [1]. Это обусловлено высокими достоинствами его зерна и зеленой массы, разнообразием использования в кормопроизводстве [2]. Оно также является хорошим источником сырья для производства биотоплива и пищевых продуктов [3, 4].

Сок сахарного сорго применяют для изготовления сиропа на пищевые цели, а также продуктов питания, в том числе для больных диабетом II типа [5–7]. Исследователи считают, что количество и качество сахарного сока определяют генетические признаки сортов и гибридов [8, 9]. Для создания высокогетерозисных гибридов следует подбирать родительские формы с высокой комбинационной способностью [10, 11]. С использованием методов трансгенной селекции возможно увеличение засухоустойчивости и усиление процесса фотосинтеза [12–15].

Сорго не предъявляет высоких требований к почвенному плодородию, хорошо адаптировано к произрастанию при высокой температуре воздуха, недостатку влаги и ее экономному расходованию [16–19]. На образование единицы сухого вещества сорго расходует 300 частей воды, пшеница – 515, подсолнечник – 895 [3, 20].

В засушливый период растения сорго приостанавливают свой рост и развитие, остаются в анабиотическом состоянии до наступления благоприятных условий [21]. Замыкающие клетки устьичного аппарата имеют плотную оболочку, долгое время не парализуются и восстанавливают тургор после двухнедельной засухи. Факторами, повышающими засухоустойчивость сорго, являются мощная корневая система, большое количество устьиц при преимущественном их размещении с нижней стороны листа, большие запасы углеводов (сахаров) в клеточном соке при высокой его концентрации. При высоких температурах воздуха на листьях и стеблях выделяется белый восковидный налет, предохраняющий растения от сильного перегрева и испарения [22].

В кормовом балансе животных сорго используется на зеленый корм, сено, сенаж, силос, зернофураж, травяную муку, гранулы, выпас [23]. Несмотря на это, сорговые культуры еще не получили должного распространения в производстве. Расширение их посевов сдерживает недооценка биологических особенностей культуры, невыполнение требований сортовой агротехники. В производстве еще недостаточное количество адаптированных к местным условиям возделывания гибридов с минимальной уборочной влажностью зерна и обеспечивающих возможность организации рентабельного семеноводства [19].

**Цель исследований** – изучить источники хозяйственных признаков и биологических свойств, выявить наиболее перспективные для практического использования в селекции сахарного сорго, адаптированные к возделыванию в климатических условиях Центрального Предкавказья.

В задачи наших исследований входило изучить морфобиологические особенности сорго сахарного и, используя методы межвидовой и внутривидовой гибридизации, получить новые гибриды, повысить их продуктивность и качество, а также получить и размножить оригинальные семена в питомниках семеноводства.

#### **Материалы и методы исследований**

В 2021–2022 гг. экспериментальную часть полевых и лабораторных исследований по селекции и испытанию новых гибридов сорго сахарного осуществляли в соответствии с планом научно-исследовательских работ лаборатории селекции и первичного семеноводства сорго по утвержденной программе и методике на опытном поле и лабораторной базе ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», расположенных в г. Михайловске Ставропольского края.

Почвенным покровом опытного поля является типичный среднесуглинистый малогумусный мицеллярно-карбонатный чернозем. Глубина гумусового горизонта достигает 100–120 см с содержанием гумуса в пахотном слое почвы 3,2 % (по Тюрину). Обеспеченность почвы подвижными фосфорами минерального питания средняя. Нитратный азот определяли по Грандваль-Ляжу. Подвижный фосфор и калий – по Мачигину (ГОСТ 26205-91).

Погодные условия вегетационного периода 2021 г. характеризовались умеренно теплым температурным фоном и условиями увлажнения на уровне среднесуточной нормы. В июне и июле осадков выпало на 10–20 мм меньше среднесуточных значений, но в августе и сентябре этот показатель был на 46–55 мм больше нормы. Среднесуточная температура воздуха была на 1,9 °С выше нормы, что обусловило быстрое появление всходов и высокую полевую всхожесть. В июле–августе температурный режим превысил норму на 1,3–3,1 °С.

Условия вегетационного периода 2022 г. можно охарактеризовать как благоприятные для роста и развития сорго. Посев культурных растений проведен 12–14 мая. Период «посев-всходы» благодаря прохладной погоде второй половины мая увеличился до 12–14 дней. Однако дальнейшее развитие, цветение и созревание сорго проходили в сравнительно благоприятных условиях, что обеспечило высокий урожай с невысокой влажностью зерна. Повышение температуры воздуха наблюдали во все месяцы, кроме мая и июля, когда оно оказалось ниже уровня среднесуточных значений соответственно на 2,8 и 1,6 °С. В июне и сентябре количество осадков было на 30 и 25 % больше нормы.

Посевы селекционных питомников размещали в полевом севообороте на делянках с учетной площадью 5 м<sup>2</sup> в гибридном питомнике F1, 10 м<sup>2</sup> – в коллекционном и контрольном питомнике, 25 м<sup>2</sup> – в питомнике гибридизации и конкурсном испытании. Предшественник – озимая пшеница по черному пару. Способ посева – широкорядный с междурядьями 70 см. Густота стояния растений в рядках формировалась при ручной прорывке из расчета 160 тыс./га. Уход за посевами сахарного сорго осуществляли по общепринятой технологии, рекомендованной для зоны исследований [3, 18].

Оценку по морфологическим признакам, фенологические наблюдения, учет урожая, его структуры, оценку пораженности болезнями, заселенности вредителями, определение содержания сахара в соке стеблей, полегания растений, их облиственность, уровень гетерозиса проводили в соответствии с методическими указаниями ВИР для сорговых и просовидных культур (1967), методикой оценки и наблюдений широкого унифицированного классификатора СЭВ [24], методикой государственной комиссии по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур [25]. Результаты исследований обрабатывали методом дисперсионного анализа однофакторного опыта по методике Б. А. Доспехова [26].

В летне–осенний период 2021–2022 гг. под пергаментными изоляторами проведено размножение и самоопыление новых перспективных образцов и стерильных линий. В качестве стандартов использовали гибрид Силосное 88 и сорт Ставропольское 36, которые высевали в селекционных и коллекционных питомниках через 15 вариантов. В среднем за два года у 522 вариантов сахарного сорго осуществлено 1510 самоопылений, а у семи стерильных линий – 326 скрещиваний с использованием пыльцы из коллекционного питомника. В качестве материнских форм использовали стерильные линии Зерста 38А, Зерста 90С, Княжна, А-63, А-3615, А-1012, А-3529.

**Результаты и их обсуждение**

В гибридном питомнике первого поколения сорго сахарного высевали 60 гибридов, из которых по сочетанию морфологических свойств, ботанических признаков и элементов структуры урожая выделили 25 новых образцов (таблицы 1, 2). Данные фенологических наблюдений показывают, что по продолжительности вегетационного периода большинство созданных в 2021 г. новых гибридов сахарного сорго относятся к среднеранней и среднеспелой группе. Более скороспелыми по сравнению со стандартом Силосное 88 были гибридные комбинации А-3615 и восстановителей фертильности Л-7897, Ставропольское 36, Сахара, Лиственник. Период «всходы-выметывание» у этих форм варьировал в пределах 43–51 дней.

Для получения более раннего зеленого корма и величины отавы важное значение имеет сила первоначального роста растений (высота на 30 день вегетации). По этому признаку превысили стандарт гибриды А-3615 × Ставропольское 36 (77 см), А-3615 × Оранжевое (75 см). На уровне стандарта Силосное 88 (72 см) по силе первоначального роста были растения комбинации А-3615 × Ставропольское 59.

**Таблица 1 – Морфобиологические свойства гибридов первого поколения (F1) сорго сахарного (среднее за 2021–2022 гг.)**

Вариант	Дата		Высота растений, см		Длина метелки, см	Выдвинутость метелки, см	Кушение, ед.	Поврежденность головной балл	Полетание, балл	Содержание сахара, %
	всходы	выметывание	на 30 день	фаза МВС						
Силосное 88 (St.)	26.05	19.07	72	245	29	2	3	0	0	-
Княжна × Л-7859	25.06	21.07	69	260	30	17	3	0	2	13
Княжна × Северное 44	30.05	23.07	55	279	30	17	2	0	0	-
Коричневое 11С × Оранжевое 125	30.05	24.07	54	234	32	18	2	0	0	-
А-63 × С-85	26.05	22.07	62	235	27	15	1	0	1	10
А-63 × К-3048	31.05	30.07	50	242	20	3	1	0	2	-
А-63 × Крымское	26.05	23.07	61	230	17	2	1	0	2	-
А-63 × Д-363, Черноград	26.05	23.07	56	220	23	8	1	1	0	-
А-3529 × Крымское	26.05	23.07	60	270	22	15	2	0	0	11
А-3615 × Галия	30.05	22.07	61	245	10	11	2	0	2	-
А-3615 × Л-7897	27.05	17.07	66	240	9	24	1	2	0	14
А-3615 × Ставропольское 36	26.05	12.07	77	235	31	33	2	0	1	12
А-3615 × Сахара	30.05	12.07	65	230	27	33	2	0	1	-
А-3615 – Лиственник	30.05	16.07	55	220	26	34	2	0	0	-
А-3615 × Ставропольское 59 – I	30.05	18.07	63	253	32	5	2	1	0	13
А-3615 × Ставропольское 59 – II	25.05	20.07	72	262	24	3	2	0	1	13
А-3615 × Северное 44 – I	30.05	30.07	62	256	32	7	2	0	0	-
А-3615 × Северное 44 – II	26.05	22.07	60	232	26	7	3	0	0	-
А-3615 × Оранжевое	27.05	31.07	75	270	27	2	2	0	1	11
А-3615 × Д-363, Черноград	30.05	31.07	63	271	32	13	3	0	0	12
А-3615 × К-3668	26.05	28.07	69	240	22	43	2	0	0	-
R03 Ruff 20	27.05	28.07	49	227	19	12	1	0	2	-
Зерста 38А × Лиственник	29.05	23.07	65	285	32	23	2	0	0	18
Зерста 38А × Дебют	30.05	23.07	54	270	32	24	2	0	1	16
Д-105 × 148, отбор 20	26.05	21.07	60	261	24	14	1	1	0	12
НСР <sub>05</sub>			2,4	13,3	1,2					

В связи с проведением самоопылений и скрещиваний измерения высоты растений осуществляли в фазе молочно-восковой спелости (МВС). Все гибридные номера с высоким уровнем гетерозиса зеленой массы имеют прямую корреляционную зависимость с высотой растений. Наибольшая высота растений в фазе МВС установлена у комбинации Зерста 38А × Лиственник и составила 285 см, что выше показателей стандарта на 40,0 см. Варианты Княжна × Северное 44, А-3529 × Крымское, А-3615 × Оранжевое, А-3615 × Д363, Зерста 38А × Дебют превысили значения стандарта Силосное 88 на 25–34 см.

Облиственность растений – важный показатель качества зеленой массы. Мягкие, сочные листья хорошо поедаются всеми видами животных. Климатические условия в годы проведения исследований способствовали формированию растениями сорго сахарного высокой ассимиляционной поверхности листьев. У стандарта Силосное 88 в фазе молочно-восковой спелости облиственность составила 12,3 %. У новых гибридов самые высокие значения этого признака получены у комбинаций А-3529 × Крымское (20,0 %) и А-3615 × Галия (18,8 %). Значительно превышали стандарт показатели облиственности у вариантов Княжна × Л-7859 (17,5 %), Княжна × Северное 44 (15,1 %), А-3615 × Северное 44 (13,9 %), А-3615 × Д363 (14,0 %) и других.

**Таблица 2 – Ботанические признаки и элементы структуры урожая гибридов первого поколения (F1) сорго сахарного (среднее за 2021–2022 гг.)**

Вариант	Количество листьев, шт.	Лист, см		Длина ножки, см	Толщина стебля, см	Количество узлов, шт.	Масса, г			Облиственность, %
		длина	ширина				растения	стебля	метелки	
Силосное 88 (St.)	7	74	6	37	1,9	9	533	332	135	12,3
Княжна × Л-7859	8	82	8	45	2,1	8	519	353	75	17,5
Княжна × Северное 44	8	88	8	54	2,0	10	873	593	149	15,1
Коричневое 11С × Оранжевое 125	8	79	8	49	1,9	8	556	397	90	12,4
А-63 × С-85	8	70	4	45	1,9	9	445	289	109	10,6
А-63 × К-3048	10	81	8	36	2,1	9	601	390	149	10,5
А-63 × Крымское	11	77	6	32	1,7	8	477	313	98	13,8
А-63 × Д-363, Зерноград	10	74	6	33	1,7	7	459	317	93	10,7
А-3529 × Крымское	11	81	8	40	2,5	11	920	609	127	20,0
А-3615 × Галия	7	79	7	42	1,8	8	787	522	117	18,8
А-3615 × Л-7897	8	79	7	58	1,8	9	411	278	69	15,5
А-3615 × Ставропольское 36	7	70	7	48	1,7	8	412	259	84	16,7
А-3615 × Сахара	7	77	6	62	1,7	8	329	219	73	11,3
А-3615 – Лиственник	7	76	6	52	1,6	8	298	180	74	14,2
А-3615 × Ставропольское 59 – I	8	89	8	53	2,1	10	673	443	143	12,9
А-3615 × Ставропольское 59 – II	9	81	8	44	2,2	10	693	465	134	13,6
А-3615 × Северное 44 – I	10	83	8	46	2,0	11	625	431	107	13,9
А-3615 × Северное 44 – II	9	80	8	38	2,0	9	663	427	155	12,2
А-3615 × Оранжевое	7	78	8	48	1,8	9	439	307	71	13,8
А-3615 × Д-363, Зерноград	12	78	8	51	1,9	11	623	418	112	14,0
А-3615 × К-3668	8	80	7	52	2,0	10	655	418	147	13,7
R03 Ruff 20	8	78	8	32	1,7	8	407	271	85	12,5
Зерста 38А × Лиственник	10	79	7	43	1,8	9	501	316	122	12,6
Зерста 38А × Дебют	9	78	7	56	1,9	9	409	253	104	12,7
Д-105 × 148, отбор 20	10	81	8	43	1,7	11	531	390	72	13,0
НСР <sub>05</sub>	0,4	3,1	0,3	2,2			23,2	19,8	5,9	0,73

Количество, длина и ширина листа – важнейшие показатели, формирующие ассимиляционную поверхность растений, а следовательно, урожайность и качество зеленой массы у сорго сахарного. У стандарта Силосное 88 количество листьев на одном растении составило 7 шт. (длина и ширина – 74 и 6 см соответственно). У новых гибридов с высокой облиственностью эти показатели были существенно выше. У гибрида А-3529 × Крымское листьев – 11 шт., длина 81 см, ширина листовой пластинки 8 см, у комбинации А-3615 × Северное 44 аналогичные показатели составили соответственно 10 шт., 83 и 8 см, у А-3615 × Д363 – 12 шт., 78 и 8 см, у Зерста 38А × Лиственник – 10 шт., 79 и 7 см.

В фазе восковой спелости зерна осуществляли разбор образцов питомника гибридов первого поколения по 10 растений каждого варианта. Путем взвешивания определяли среднюю массу одного растения, массу стебля и метелки. Наибольшая масса одного растения в период молочно-восковой спелости зерна (более 600 г) установлена у 10 новых гибридов – А-3529 × Крымское (920 г), Княжна × Северное 44 (873 г), А-63 × К-3048 (601 г), А-3615 × Галия (787 г), А-3615 × Ставропольское 59 (693 г), А-3615 × Северное 44 (663 г), А-3615 × Д-363 (623 г), А-3615 × К-3668 (655 г). Контрольный вариант Силосное 88 обеспечил получение 533 г зеленой массы с одного растения. Масса стебля у лучших гибридных комбинаций варьировала в пределах 418–609 г., а масса метелки – 117–155 г.

У отцовских форм-восстановителей фертильности у новых гибридов для получения достаточного количества пыльцы большое значение имеет размер и масса метелки. Самый высокий показатель длины метелки (27–30 см) наблюдали у линий и сортов К-3668, Лиственник, Д-363 и других. Максимальной массой метелки характеризовались сорта Лиственник (98 г), Крымское (92 г), Ставропольское 59 (79 г) (таблица 3).

**Таблица 3 – Ботанические и морфологические признаки родительских форм гибридов сорго сахарного (среднее за 2021–2022 гг.)**

Вариант	Дата выметывания	Высота растений, см	Количество листьев, шт.	Лист, см		Толщина стебля, см	Длина метелки, см	Выдвинутость метелки, см	Содержание сахаров, %	Цвет зерна	Масса, г			Облиственность, %
				длина	ширина						растения	стебля	метелки	
<b>Материнские стерильные линии</b>														
Зерста 38А	17.07	128	8	68	7	1,8	34	34	-	белый	202	84	84	16,8
Зерста 90С	17.07	191	7	71	7	2,0	20	34	16,1	красный	350	216	88	14,6
Княжна	15.07	183	6	74	8	2,0	31	50	14,5	белый	364	218	98	13,2
А-63, St.	23.07	129	8	66	8	1,9	21	33	16,0	красный	352	210	96	13,1
А-3615	18.07	124	6	66	7	1,8	28	45	-	белый	186	82	60	20,6
НСР <sub>05</sub>		5,1					1,3	1,9			9,3	6,6	3,1	
<b>Отцовские формы – восстановители фертильности</b>														
Ставропольское 59	27.07	221	9	68	8	1,6	20	18	17,1	красный	402	270	79	13,2
Северное 44	26.07	235	8	66	5	1,4	22	5	12,8	красный	268	167	51	18,7
Крымское	31.07	228	9	65	7	1,8	21	2	13,2	красный	437	287	92	13,3
Лиственник	16.07	240	7	63	7	1,8	28	20	13,2	черный	452	284	98	15,5
Дебют	23.07	210	8	60	5	1,6	22	8	15,4	красный	266	152	63	19,2
К-3668, St.	28.07	204	9	62	7	1,6	30	21	13,1	красный	-	-	-	-
Д-366, Зерноград	24.07	235	9	64	6	1,7	27	16	11,4	черный	-	-	-	-
НСР <sub>05</sub>		8,2					1,5	1,1			12,7	7,1	3,8	

От толщины стебля в значительной степени зависит устойчивость сорговых растений к полеганию. У выделившихся новых гибридов сахарного сорго показатели толщины стебля варьировали в пределах 1,9–2,2 см. При этом полегание растений в третьей декаде октября или отсутствовало (0 баллов) или было минимальным (1 балл).

Показатели кустистости у новых гибридов сорго сахарного (2,2–2,8) были максимальными у вариантов, где в качестве отцовских форм использовали Северное 44, Лиственник, Д-363, Ставропольское 59. Для рентабельного семеноводства кроме размера метелки важное значение имеет и ее выдвинутость из раструба верхнего листа. По сочетанию этих признаков (длина метелки 22–32 см) и ее выдвинутость (20–43 см) выделены семь новых гибридных комбинаций – Княжна × Л-7859, Княжна × Северное 44, А-3529 × Крымское, А-3615 × Ставропольское 36, А-3615 × Лиственник; А-3615 × К-3668, Зерста 38А × Дебют.

Наибольшее содержание сахара в соке стеблей установлено у Зерста 38А × Лиственник (17,8 %), Зерста 38А × Дебют (15,6 %).

Самый высокий уровень гетерозиса в сравнении с средними значениями родительских форм отмечен для показателей: высота растений, количество, длина и ширина листьев, длина метелки (таблица 4).

**Таблица 4 – Уровень гетерозиса основных хозяйственно-биологических признаков у гибридов первого поколения сорго сахарного**

Вариант	Уровень гетерозиса у F1 в сравнении с средними значениями родительских форм						
	высота растений, см		выметывание, дней	количество листьев, шт.	Лист, см		длина метелки, см
	на 30 день	в фазе МВС			длина	ширина	
Силосное 88 (St.)	20,0	63,0	-0,5	-1,0	2,0	-2,0	3,5
Княжна × Л-7859	12,0	45,0	+4,5	2,0	18,0	1,5	2,5
Княжна × Северное 44	2,0	70,0	+2,5	1,0	14,0	1,5	3,5
Коричневое 11С × Оранжевое 125	-1,0	24,0	0,0	0,0	7,0	1,0	8,5
А-63 × С-85	1,5	33,5	-4,5	-2,0	-3,5	-1,0	3,0
А-63 × К-3048	5,0	37,5	+3,5	0,0	2,0	0,0	-1,0
А-63 × Крымское	14,5	51,5	-4,0	2,5	11,5	-1,5	-4,0
А-63 × Д-363	7,5	38,0	-0,5	2,0	9,0	-1,5	-1,0
А-3529 × Крымское	13,5	73,5	0,0	1,0	6,0	1,0	1,5
А-3615 × Галя	8,0	68,0	-2,5	0,0	1,0	1,0	-9,0
А-3615 × Л-7897	11,0	53,0	-0,5	1,0	0,0	-1,0	-7,0
А-3615 × Ставропольское 36	24,0	45,0	-7,0	0,0	7,0	-0,5	0,5
А-3615 × Сахара	12,5	52,0	-5,0	0,0	10,0	-1,0	1,5
А-3615 – Лиственник	2,0	38,0	-1,0	0,5	11,5	-1,0	-2,0
А-3615 × Ставропольское 59 – I	14,0	32,0	-3,5	0,5	22,0	0,5	8,0
А-3615 × Ставропольское 59 – II	18,0	90,0	-5,5	1,5	14,0	0,5	0,0
А-3615 × Северное 44 – I	11,0	76,5	+6,0	2,5	17,5	2,0	7,0
А-3615 × Северное 44 – II	9,0	52,5	0,0	1,5	14,5	2,0	1,0
А-3615 × Оранжевое	22,5	94,5	+6,0	0,0	9,0	1,0	0,0
А-3615 × Д-363	12,0	91,5	+8,0	2,5	13,0	1,5	4,5
А-3615 × К-3668	15,0	76,0	+4,0	0,5	16,0	0,0	-7,0
R03 Ruff 20	-	-	-	-	-	-	-
Зерста 38А × Лиственник	19,0	101,0	+4,5	2,5	13,5	0,0	1,0
Зерста 38А × Дебют	-3,0	101,0	+3,0	1,0	12,5	1,0	4,0
Д-105 × 148, отбор 20	-	-	-	-	-	-	-
НСР <sub>05</sub>		4,1			-		-

По сочетанию этих признаков лучшие показатели гетерозиса установлены у гибридов F1 – Княжна × Северное 44, А-63 × Крымское, А-3529 × Крымское, А-3615 × Ставропольское 59, А-3615 × Северное 44, А-3615 × Оранжевое, А-3615 × Д-363, А-3615 × К-3668, Зерста 38А × Лиственник, Зерста 38А × Дебют и стандарта Силосное 88. У приведенных комбинаций уровень гетерозиса высоты растений в фазе молочно-восковой спелости варьировал в пределах 73,5–101 см. В фазе выметывания осуществлен учет ускорения (–) или замедления (+) развития растений. Количество листьев и их длина имели более значительные показатели, чем средние значения этих признаков у родительских форм изучаемых гибридов. Уровень гетерозиса ширины листа и длины метелки у большинства изучаемых вариантов был также выше, чем у их родительских форм.

#### Выводы

В среднем за 2021–2022 гг. максимальная высота растений у гибридов F1 установлена у комбинаций Зерста 38А × Лиственник (285 см), Княжна × Северное 44 (279 см), А-3529 × Крымское (285 см) и др.

Наибольшей облиственностью характеризовались гибриды А-3529 × Крымское (20,0 %) и А-3615 × Галия (18,8 %).

Наиболее высокие показатели уровня гетерозиса в сравнении со средними значениями родительских форм установлены для высоты растений (68–101 %), длины листьев (9–22 %), длины метелки (3,5–8,0 %).

Наибольшей массой одного растения (более 600 г) характеризовались 10 новых гибридов – Княжна × Северное 44, А-63 × Крымское, А-3529 × Крымское, А-3615 × Ставропольское 59, А-3615 × Северное 44, А-3615 × Оранжевое, А-3615 × Д-363, А-3615 × К-3668, Зерста 38А × Лиственник, Зерста 38А × Дебют.

#### Литература

1. Шевченко П. Д., Балакай Г. Т. Кормопроизводство степной зоны России. Новочеркасск: Оникс+, 2007. 421 с.
2. Алабушев А. В., Анипенко Л. Н., Гурский Н. Г., Коломиец Н. Я., Костылев П. И., Мангуш П. А., Алабушева О. И. Сорго (селекция, семеноводство, технология, экономика). Самара: Книга, 2003. 368 с.
3. 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. DOI: 10.25930/0ка6-v903.
4. Горпиниченко С. И., Ляшов П. И., Ермолина Г. М., Метлина Г. В., Шарова О. Д., Ковтунов В. В. Технология возделывания сорго сахарного. Ростов-на-Дону: Ростиздат, 2009. 24 с.
5. Eggleston G., Lima I. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries // Sustainability (Switzerland). 2015. No. 7(9). P. 12209–12235. DOI: 10.3390/su70912209.
6. Lyumugabe F., Gros J., Songa E. B., Thonart P. Sorghum beer brewing using *Eleusine coracana* “finger millet” to improve the saccharification // American Journal of Food Technology. 2015. No. 10(4). P. 167–175. DOI: 10.3923/ajft.2015.167.175.
7. Askarbekov E. B., Baygazieva G. I. Sweet sorghum use in the production of alcohol // Research Journal of Applied Sciences. 2015. No. 10(9). P. 501–504.
8. Arora M., Kocher G. S., Sohu R. S. Evaluation of sweet sorghum varieties for their juice characteristics // Journal of Food, Agriculture and Environment. 2017. No. 15(2). P. 58–61.
9. 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.
10. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35- 1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Iss. 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282.
11. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С. Гетерозисная селекция сорго-суданковых гибридов // Таврический вестник аграрной науки. 2022. № 3 (31). С. 75–83. EDN: OJTQPT.



12. Zhu Y., Wang X., Huang L., Lin C., Zhang X., Xu W., Peng J., Li Z., Yan H., Luo F., Wang X., Yao L., Peng D. Transcriptomic identification of drought-related genes and SSR markers in sudan grass based on RNA-seq // *Frontiers in Plant Science*. 2017. Vol. 8. No. 687. DOI: 10.3389/fpls.2017.00687.
13. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // *Acta Agronomica Sinica (China)*. 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
14. Lu X.-P., Liu D.-D., Wang S.-Y., Mi F.-G., Han P.-A., Lü E.-S. Genetic effects and heterosis prediction model of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* grass // *Acta Agronomica Sinica (China)*. 2014. Vol. 40. Iss. 3. P. 466–475 DOI: 10.3724/SP.J.1006.2014.00466.
15. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-sudan grass hybrid based on BSA method // *Protein and Peptide Letters*. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
16. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // *Acta Biochimica et Biophysica Sinica*. 2015. Vol. 48. Iss. 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
17. Шорин П. М., Малиновский Б. Н., Мирошниченко В. Ф. Сорго – ценная кормовая культура. М.: Колос, 1973. 109 с.
18. Капустин С. И., Володин А. Б. Возделывание сорго и однолетних кормовых культур в засушливых условиях юга России. Ставрополь: Сервис-школа, 2022. 103 с.
19. Землянов В. А. Факторы управления семенной продуктивностью сорго сахарного на Дону. Ростов-на-Дону: Книга, 2011. 192 с.
20. Baranovsky A. V., Sadovoy A. S., Kapustin S. I., Kapustin A. S., Stroyny A. M., Golub A. S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // *International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES)*. 2022. Vol. 12(1). P. 1–6. DOI: 10.31407/ijeess12.101.
21. Шепель Н. А. Сорго. Волгоград: Комитет по печати, 1994. 448 с.
22. Барановский А. В., Денисенко А. И., Дранищев Н. И., Дремлюк Г. К., Красенков С. В. Рекомендации по технологии возделывания и использованию сорговых культур. Луганск: Копир-центр, 2014. 56 с.
23. Черенков А. В., Дзюбецкий Б. В., Барановский А. В. Сорговые культуры: технология, использование, гибриды и сорта. Днепропетровск: Роял Принт, 2011. 63 с.
24. Якушевский Е. С., Варадинов С. Г., Корнейчук В. А., Баняи Л. Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ возделываемых видов рода *Sorghum* Moench. Л.: ВИР, 1982. 34 с.
25. Федин М. А. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: МСХ СССР, 1985. 267 с.
26. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. 335 с.

## References

1. Shevchenko P. D., Balakai G. T. Forage production in the steppe zone of Russia. Novocheerkassk: Oniks+, 2007. 421 p.
2. Alabushev A. V., Anipenko L. N., Gursky N. G., Kolomiets N. Ya., Kostylev P. I., Mangush P. A., Alabusheva O. I. Sorghum (selection, seed production, technology, economics). Samara: Kniga, 2003. 368 p.
3. Kulintsev V. V., Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Pankov Yu. I. Cultivation of sorghum and annual forage crops for seeds: Monograph. Stavropol: Servis-Shkola, 2019. 128 p. DOI: 10.25930/0ka6-v903.
4. Gorpichenko S. I., Lyashov P. I., Ermolina G. M., Metlina G. V., Sharova O. D., Kovtunov V. V. Technology of cultivation of sugar sorghum. Rostov-on-Don: Rostizdat, 2009. 24 p.
5. Eggleston G., Lima I. Sustainability issues and opportunities in the sugar and sugar-bioproduct industries // *Sustainability (Switzerland)*. 2015. No. 7(9). P. 12209–12235. DOI: 10.3390/su70912209.
6. Lyumugabe F., Gros J., Songa E.B., Thonart P. Sorghum beer brewing using *Eleusine coracana* “finger millet” to improve the saccharification // *American Journal of Food Technology*. 2015. No. 10(4). P. 167-175. DOI: 10.3923/ajft.2015.167.175.
7. Askarbekov E.B., Baygazieva G.I. Sweet sorghum use in the production of alcohol // *Research Journal of Applied Sciences*. 2015. No. 10(9). P. 501-504.
8. Arora M., Kocher G.S., Sohu R.S. Evaluation of sweet sorghum varieties for their juice characteristics // *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 2017. No. 15(2). P. 58-61.
9. 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.

10. Kibalnik O. P. Combining ability of CMS-lines of grain sorghum based on A1, A2, A3, A4, 9E and M-35- 1A types of cytoplasmic male sterility // Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017. Vol. 21. Issue 6. P. 651–656. DOI: 10.18699/VJ17.282.
11. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S. Heterosis breeding of sorghum-sudan grass hybrids // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2022. No. 3 (31). P. 75-83. EDN: OJTQPT.
12. Zhu Y., Wang X., Huang L., Lin C., Zhang X., Xu W., Peng J., Li Z., Yan H., Luo F., Wang X., Yao L., Peng D. Transcriptomic identification of drought-related genes and SSR markers in sudan grass based on RNA-seq // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8. No. 687. DOI: 10.3389/fpls.2017.00687.
13. Han P.-A., Lu X.-P., Mi F.-G., Zhang R.-X., Li M.-N., Xue C.-L., Dong J., Cong M.-L. Analysis of heterosis in sorghum-sudangrass hybrid seedlings based on proteomics // Acta Agronomica Sinica (China). 2016. Vol. 42. Iss. 5. P. 696–705. DOI: 10.3724/SP.J.1006.2016.00696.
14. Lu X.-P., Liu D.-D., Wang S.-Y., Mi F.-G., Han P.-A., Lü E.-S. Genetic effects and heterosis prediction model of *Sorghum bicolor* × *S. sudanense* grass // Acta Agronomica Sinica (China). 2014. Vol. 40. Iss. 3. P. 466–475 DOI: 10.3724/SP.J.1006.2014.00466
15. Yu X.-X., Liu Z.-H., Yu Z., Shi Y., Li X.-Y. Development of SSR markers linked to low hydrocyanic acid content in sorghum-sudan grass hybrid based on BSA method // Protein and Peptide Letters. 2016. Vol. 23. Iss. 5. P. 417–423. DOI: 10.2174/0929866523666160322153559.
16. Han P., Lu X., Mi F., Dong J., Xue C., Li J., Han B., Zhang X. Proteomic analysis of heterosis in the leaves of sorghum-sudangrass hybrids // Acta Biochimica et Biophysica Sinica. 2015. Vol. 48. Issue 2. P. 161–173. DOI: 10.1093/abbs/gmv126.
17. Shorin P.M., Malinovsky B.N., Miroshnichenko V.F. Sorghum is a valuable fodder crop. Moscow: Kolos, 1973. 109 p.
18. Kapustin S.I., Volodin A.B. Cultivation of sorghum and annual fodder crops in arid conditions in southern Russia. Stavropol: Servis-Shkola, 2022. 103 p.
19. Zemlyanov V.A. Factors of control seed productivity of sugar sorghum on the Don. Rostov-on-Don: Kniga, 2011. 192 p.
20. Baranovsky A.V., Sadovoy A.S., Kapustin S.I., Kapustin A.S., Stroyny A.M., Golub A.S. Characteristics of consumptive water use of millet and sorghum depending on the sowing time in dry conditions of steppe zone // International Journal of Ecosystems and Ecology Science (IJEES). 2022. Vol. 12(1). P. 1-6. DOI: 10.31407/ijeess12.101.
21. Shepel N.A. Sorghum. Volgograd: Press Committee, 1994. 448 p.
22. Baranovsky A.V., Denisenko A.I., Dranishchev N.I., Dremlyuk G.K., Krasnenkov S.V. Recommendations on technology of cultivation and use of sorghum crops. Lugansk: Kopir-tsentr, 2014. 56 p.
23. Cherenkov A.V., Dzyubetsky B.V., Baranovsky A.V. Sorghum crops: technology, use, hybrids and varieties. Dnepropetrovsk: Royal Print, 2011. 63 p.
24. Yakushevsky E.S., Varadinov S.G., Korneichuk V.A., Banyai L. Wide unified CMEA classifier and international CMEA classifier of cultivated species of the genus *Sorghum* Moench. Leningrad: VIR, 1982. 34 p.
25. Fedin M. A. Methods of state variety testing of agricultural crops. Moscow: USSR Ministry of Agriculture, 1985. 267 p.
26. Dospikhov B. A. Methods of field research. Moscow: Kolos, 1985. 335 p.

UDC 633.174:631.527.5

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

### **ECONOMICALLY VALUABLE SIGNS OF NEW *SORGHUM SACCURATUM* HYBRIDS (F1) AND THEIR PARENT FORMS**

**Summary.** *In the North Caucasus, new drought-tolerant sorghum hybrids are particularly important in the context of animal husbandry intensification. The purpose of the research was to study the sources of economically valuable signs promising in Sorghum saccuratum breeding and adapted to cultivation under arid conditions of the zone. Field-based and laboratory-based experiments concerning breeding and testing new sorghum hybrids were conducted on the experimental field and laboratory facilities of the North Caucasus Federal Agricultural Research Center located in the town of Mikhailovsk (Stavropol Krai). The objective of the research was to obtain new hybrids with improved indicators of productivity and quality using interspecific and intraspecific hybridization methods. Weather conditions in 2021-2022 was favourable for sorghum growth and*

development. In the F1 hybrid nursery, sixty hybrids were sown. Twenty-five of them were selected based on a combination of morphological properties, botanical characteristics and yield structure elements. On average over the period of 2021–2022, the most early-ripening were combinations of sterile line 'A-3615' and fertility restorers 'L-7897', 'Listvennik', 'Sahara', 'Stavropolskoye 36'. The sprouting-heading period for these forms lasted 43–50 days; compared to standard, it was 3–11 days less. The most significant plant height was obtained in combinations 'Zersta 38A' × 'Listvennik' (285 cm), 'Knyazhna' × 'Severnoye 44' (279 cm), 'A-3615' × 'Oranzhevoye' (270 cm), etc. Hybrids 'A-3529' × 'Krymskoye' and 'A-3615' × 'Galiya' were the leafiest (the most foliated) ones – 20 and 18.8%, respectively. The largest weight of one plant (more than 600 g) was found in 10 new hybrids – 'A-3529' × 'Krymskoye' (920 g), 'Knyazhna' × 'Severnoye 44' (873 g), etc.; in the control variant, this indicator was 533 g. The highest levels of heterosis compared to the average values of parental forms were established for plant height (68–101%).

**Keywords:** *Sorghum saccharatum*, breeding, hybrid, plant height, foliage, sugar content, heterosis level, green mass weight.

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; e-mail: sniish@mail.ru.

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 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.

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., Mikhailovsk, 356241, Russia; e-mail: sniish@mail.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., Mikhailovsk, 356241, 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 – 17.02.2023.*

*Дата принятия к печати – 13.03.2023.*