

Экологическое испытание сортов сахарного сорго в агроклиматических условиях России и Казахстана

О. П. Кибальник¹✉, И. М. Богапов², Д. С. Семин¹, И. Г. Ефремова¹, У. М. Сагалбеков²

¹ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

² Кокшетауский университет им. Ш. Уалиханова, Кокшетау, Республика Казахстан

✉ E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Аннотация. Цель – оценка адаптивности генотипов сахарного сорго в различных агроклиматических зонах возделывания. **Методы.** Норму реакции 8 образцов сорго сахарного селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» оценивали по результатам испытания 2020–2022 гг. в двух экологических пунктах: г. Саратов (Россия, Саратовская область) и г. Кокшетау (Казахстан, Акмолинская область), характеризующихся разными климатическими условиями. Методика возделывания растений, учет урожайности общепринятые для сорго. Повторность в опыте трехкратная, размещение делянок рендомизированное. **Результаты.** По результатам статистического анализа установлена доля изучаемых факторов в общую изменчивость признаков: наибольший вклад в высоту растений и урожайность биомассы вносил фактор «пункт экологического испытания» (33,6–58,0 %), в площадь наибольшего листа – «генотип» (31,3 %). Установлено, что в условиях Северного Казахстана, характеризующегося в годы испытаний сорго меньшей тепло- и влагообеспеченностью (разница суммы активных температур достигала 466,2–769,9 °С, а количество осадков – 17,0–106,1 мм в сравнении с условиями Нижнего Поволжья России), площадь наибольшего листа увеличивалась на 10,6 см² в среднем по группе изучаемых генотипов, при этом высота растений и урожайность вегетативной массы снижались на 22,2 см и 11,26 т/га соответственно. Вместе с тем выделены сорта и гибрид, формирующие урожайность биомассы на уровне 20,54–21,44 т/га в среднем за период испытаний: Чайка, Волжское 51, Сахара, Калибр. **Научная новизна.** Впервые представлена возможность выращивания сортов сахарного сорго селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» в условиях Северного Казахстана. Так, по комплексу параметров адаптивности в сочетании с высокой продуктивностью биомассы в среднем по пунктам экологического испытания выделен сорт Волжское 51.

Ключевые слова: сорго, урожайность, высота, площадь листа, норма реакции, адаптивность, стрессоустойчивость.

Для цитирования: Кибальник О. П., Богапов И. М., Семин Д. С., Ефремова И. Г., Сагалбеков У. М. Экологическое испытание сортов сахарного сорго в агроклиматических условиях России и Казахстана // Аграрный вестник Урала. 2023. № 04 (233). С. 15–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-15-27.

Дата поступления статьи: 16.02.2023, **дата рецензирования:** 03.03.2023, **дата принятия:** 15.03.2023.

Постановка проблемы (Introduction)

Сорго является одной из наиболее адаптированных культур к абиотическим стрессорам (засуха, жара, засоление и другие) и возделывается в засушливых регионах всего мира [1]. В России согласно хозяйственному назначению *Sorghum bicolor* L. Moench представлен несколькими видами: зерновое, сахарное, веничное сорго и суданская трава. Это сельскохозяйственная культура многоцелевого направления использования [2]. В одних странах сорго применяют в приготовлении концентрированных и сочных кормов (зернофураж, монокорм, силос, зеленый корм, травяные гранулы), в других – продуктов питания (каши, хлебобулочные изделия, кексы,

вафли). Из метелок веничного сорго изготавливают веники и щетки [3]. Также сорго рассматривается как источник сырья (зерно, биомасса) для производства биоэтанола [4–5]. Из стеблей сахарного сорго изготавливают патоку, сироп и даже мед [6].

Из всех перечисленных выше возможностей использования сорго основным направлением в настоящее время остается кормопроизводство. В условиях нарастания аридизации климата во многих регионах мира получить высокие урожаи кормовых культур удастся не каждый год. Поэтому стабилизация отрасли кормопроизводства за счет внедрения в новые регионы культур с высоким адаптивным потенциалом остается актуальной. В связи с этим

сохраняется востребованность в новых, более продуктивных и приспособленных к определенной зоне возделывания сортов и гибридов сахарного сорго, биологической особенностью которого является способность генерировать высокое содержание водорастворимых сахаров в соке стебля (до 18–22 %) [7]. Также сахарное сорго формирует в богарных условиях от 25–30 до 45–55 т биомассы с гектара посевов в зависимости от агроклиматических условий региона возделывания [8–9]. Зеленая масса характеризуется высокой питательностью и пригодна для скармливания сельскохозяйственным животным [10].

Для расширения ареала распространения сорта необходимо оценить норму реакции образца в различных почвенно-климатических зонах. Данный подход широко используется селекционерами и позволяет выявить адаптивный потенциал сорта, его стрессоустойчивость, генетическую гибкость и пластичность, устойчивость к абиотическим и биотическим стрессорам [7]. Известно, что разные генотипы сельскохозяйственных культур неодинаково реагируют на одну и ту же среду возделывания [11]. Поэтому изучение взаимодействия сортов с конкретными условиями выращивания является необходимым этапом перед их промышленным возделыванием.

Цель исследований – оценка адаптивности генотипов сахарного сорго в различных агроклиматических зонах возделывания.

Методология и методы исследования (Methods)

Определение нормы реакции образцов сорго сахарного селекции ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» проведено в 2020–2022 гг. в двух пунктах экологического испытания: г. Саратов (Россия, Саратовская область) и г. Кокшетау (Казахстан, Акмолинская область), характеризующихся разными климатическими условиями.

Объекты исследований: 7 сортов (Волжское 51, Сахара, Флагман, Капитал, Чайка, Севилья, Волонтер) и гибрид Калибр сахарного сорго, допущенных к использованию от Центрально-Черноземного (5) до Уральского (9) регионов Российской Федерации.

Климат Саратовской области относится к среднеконтинентальному. Теплообеспеченность области (сумма активных температур) варьирует в пределах 2500–3100 °С. Среднегодовая температура воздуха составляет +4,2...+6,3 °С, а амплитуда среднемесячных температур между наиболее теплым и холодным месяцем достигает 32,0–36,3 °С [12]. За период с температурой выше +10 °С обычно выпадает до 300 мм осадков. В исследуемый период суммы активных температур и количество осадков за вегетацию сорго превышали среднегодовые показатели. Почва опытного участка ФГБНУ РосНИИСК «Россорго» представлена черноземом южным среднесуглинистым. Содержание гумуса в

пахотном слое составляет 3,5 %. Нитрификационная способность (по Кравкову) – 7,7 мг/кг; фосфор (по Мачигину) – 34,2–35,7 мг/кг; калий (в углеаммонийной вытяжке) – 349–378 мг/кг. Реакция почвенной среды pH = 6,3–6,4. Обработка почвы экспериментального участка проводилась согласно зональной технологии возделывания. Площадь делянки составила 30,8 м². Повторность рендомизированных делянок в опыте трехкратная. Посев проведен во II–III декаде мая селекционной сеялкой СКС-6-10. Густота стояния растений – 100–150 тыс/га скорректирована вручную.

Удаленность Казахстана от внешних морей и океанов обуславливает резко континентальный климат. Гидротермические условия Акмолинской области характеризуются недостатком продуктивной влаги. В среднем выпадает около 300 мм осадков, из которых на теплый период (апрель – октябрь) приходится 72,1 %, на холодный (декабрь – март) – 27,9 %. Суммы активных температур воздуха выше 10 °С составляют 2102–2612 °С. За вегетивно-активный период (с мая до конца августа) накапливается 1901–2295 °С [13]. Почвы опытного поля Кокшетауского университета им. Ш. Уалиханова представлены черноземом обыкновенным среднесуглинистым и среднесуглинистым (легкогидролизуемый азот (по Тюрину, Кононовой) – 153,0 мг/кг; фосфор (по Мачигину) – 16,7 мг/кг; калий (по Мачигину) – 666,0 мг/кг). Содержание гумуса составляет 4,6 %. Реакция почвенной среды pH = 7,5–7,6. Посев проведен в третьей декаде мая. Густота стояния растений – 200 тыс/га – скорректирована вручную. Площадь делянки составила 28,0 м². Повторность рендомизированных делянок в опыте трехкратная.

В целом метеорологические условия в пунктах испытаний сортов и гибрида сахарного сорго оказались очень контрастными. Период 2020–2022 гг. можно охарактеризовать следующим образом: в Кокшетау 2020–2021 гг. – острозасушливые: гидротермический коэффициент (ГТК) составил 0,43–0,53, тогда как в 2022 г. – 1,00; в Саратове – засушливые: ГТК = 0,63–0,75. Сумма активных температур варьировала в пределах 2065,1–2835,0 °С, а количество осадков – 89,7–218,8 мм. Изменчивость метеорологических условий отражена на рис. 1.

Анализ признаков и учет урожайности проведены по общепринятой методике [14]. Адаптивную способность определяли по стрессоустойчивости, генетической гибкости [15], коэффициенту линейной регрессии (b_i) и отклонению от линии регрессии ($S\% (RG)$) [16], коэффициенту вариации (V) [17].

Стрессоустойчивость рассчитывали по формуле $(Y_{\min} - Y_{\max}) / ((Y_{\min} + Y_{\max}) / 2)$, генетическую гибкость генотипа – по $(Y_{\min} - Y_{\max}) / ((Y_{\min} + Y_{\max}) / 2)$, где Y_{\min} и Y_{\max} – наибольшие и наименьшие значения урожайности [15].

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена дисперсионным трехфакторным (фактор А – генотип, фактор В – пункт испытания, фактор С – условия года) и регрессионным анализом с использованием компьютерной программы «Агрос 2.09».

Результаты (Results)

Результаты дисперсионного анализа подтверждают значимое влияние всех факторов, а также их взаимодействие на проявление высоты растений, площади наибольшего листа и урожайности биомассы, за исключением влияния метеорологических условий на формирование площади фотосинтезирующей поверхности растений (таблица 1).

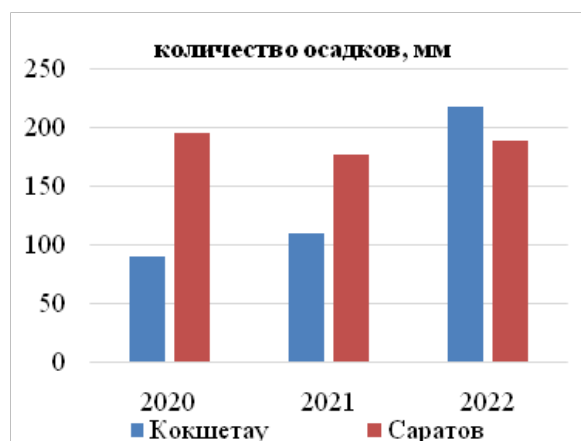
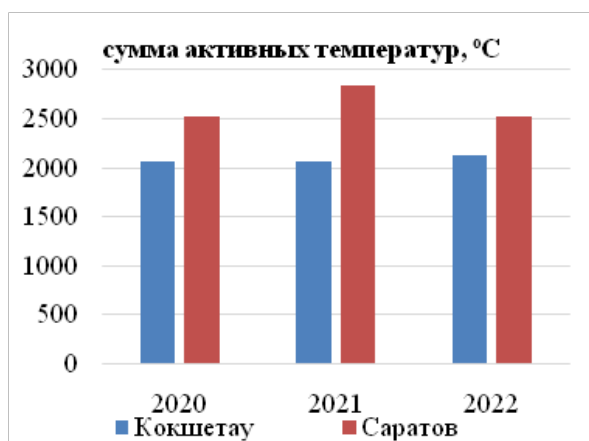


Рис. 1. Метеорологические условия в период проведения экологического испытания (2020–2022 гг.)

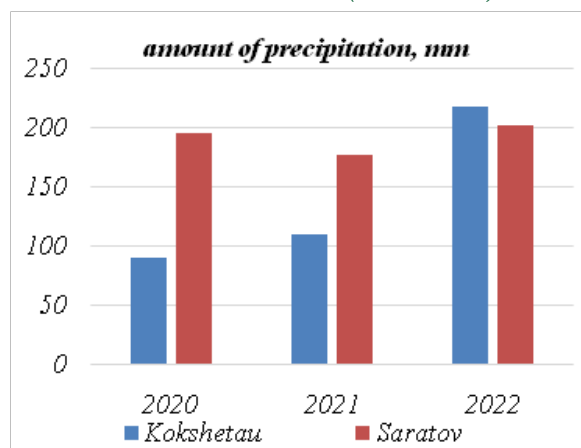
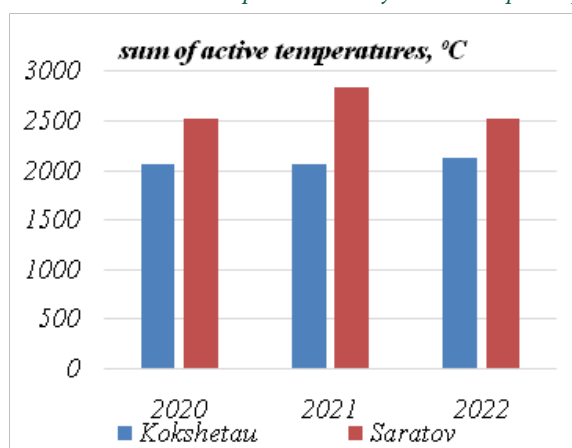


Fig. 1. Meteorological conditions during the environmental test period (2020–2022)

Таблица 1
Результаты дисперсионного анализа по влиянию различных факторов на проявление агрономических признаков образцов сахарного сорго (2020–2022 гг.)

Показатель	df	Высота растений			Площадь листа			Урожайность биомассы		
		SS	F_{05}	HCP ₀₅	SS	F_{05}	HCP ₀₅	SS	F_{05}	HCP ₀₅
Общее	143	52 594,434			323 033,219			7 885,298		
Генотип (А)	7	8 873,223	14,84*	6,11	101 173,281	15,09*	20,46	395,89	7,30*	1,84
Пункт испытания (В)	1	17 648,334	206,65*	3,05	4 068,833	4,25*	10,23	4 567,61	590,28*	0,92
Условия года (С)	2	1 963,667	11,497*	3,74	1 283,500	0,67	–	444,885	28,74*	1,12
Взаимодействие АВ	7	4 640,109	7,76*	8,64	48 767,168	7,27*	28,93	275,830	5,09*	2,60
Взаимодействие АС	14	5 309,111	4,44*	10,58	26 516,055	1,97*	35,44	746,81	6,89*	3,18
Взаимодействие ВС	2	2 073,666	12,14*	5,29	10 493,167	5,48*	17,72	52,528	3,39*	1,59
Взаимодействие АВС	14	3 938,559	3,29*	14,97	39 271,496	2,93*	50,11	648,894	5,99*	4,50
Другие факторы	94	8 027,66			89 979,164			727,366		

Table 1
The results of the analysis of variance on the influence of various factors on the manifestation of agronomic characteristics of samples of sugar sorghum (2020–2022)

Indicator	df	Plant height			Leaf area			Biomass yield		
		SS	F ₀₅	LSD ₀₅	SS	F ₀₅	LSD ₀₅	SS	F ₀₅	LSD ₀₅
Total	143	52 594.434			323 033.219			7 885.298		
Genotype (A)	7	8 873.223	14.84*	6.11	101 173.281	15.09*	20.46	395.89	7.30*	1.84
Test point (B)	1	17 648.334	206.65*	3.05	4 068.833	4.25*	10.23	4 567.61	590.28*	0.92
Conditions of the year (C)	2	1 963.667	11.497*	3.74	1 283.500	0.67	–	444.885	28.74*	1.12
Interaction AB	7	4 640.109	7.76*	8.64	48 767.168	7.27*	28.93	275.830	5.09*	2.60
Interaction AC	14	5 309.111	4.44*	10.58	26 516.055	1.97*	35.44	746.81	6.89*	3.18
Interaction BC	2	2 073.666	12.14*	5.29	10 493.167	5.48*	17.72	52.528	3.39*	1.59
Interaction ABC	14	3 938.559	3.29*	14.97	39 271.496	2.93*	50.11	648.894	5.99*	4.50
Other factors	94	8 027.66			89 979.164			727.366		

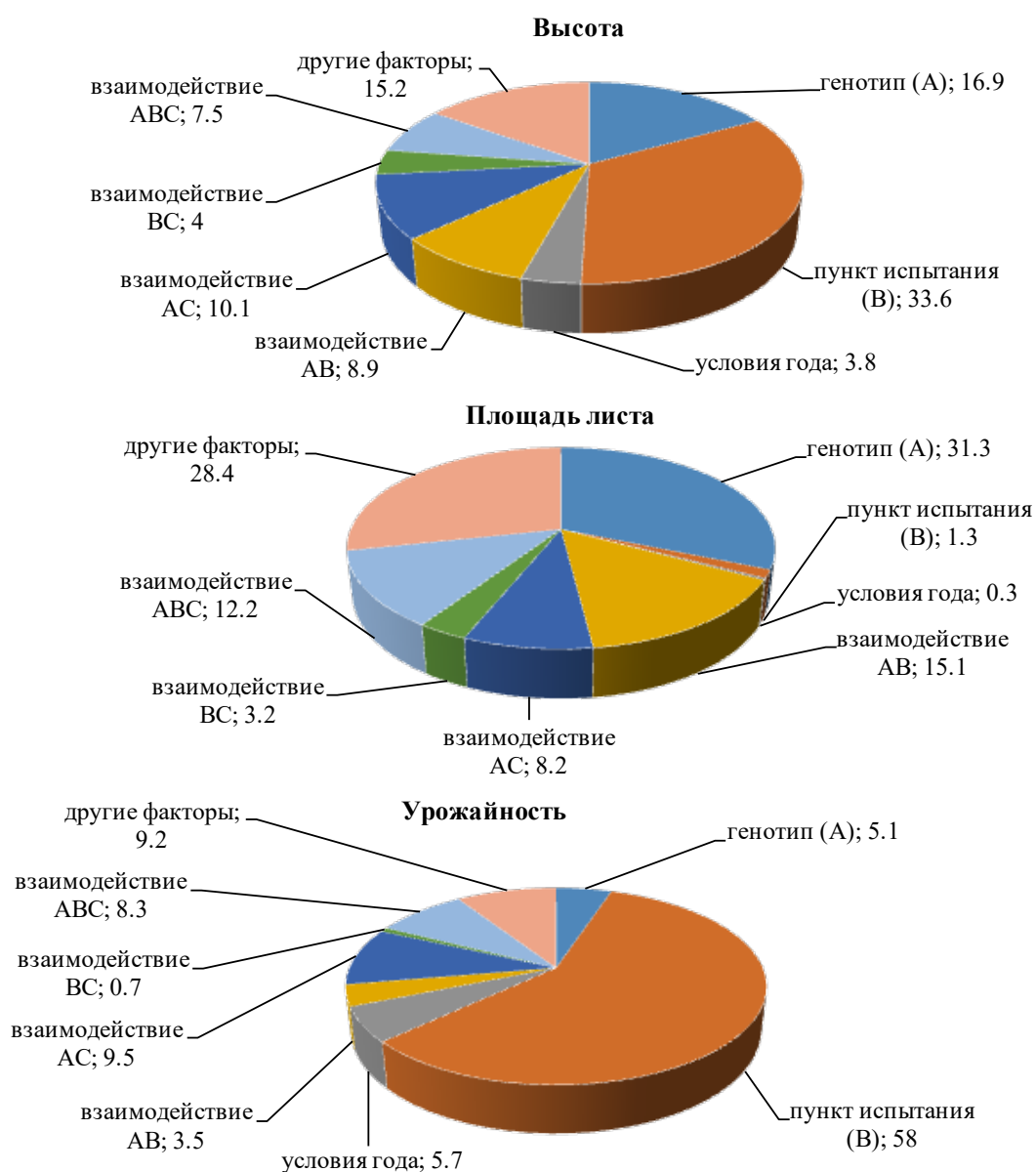


Рис. 2. Влияние изучаемых факторов на проявление общей изменчивости признака (2020–2022 гг.)

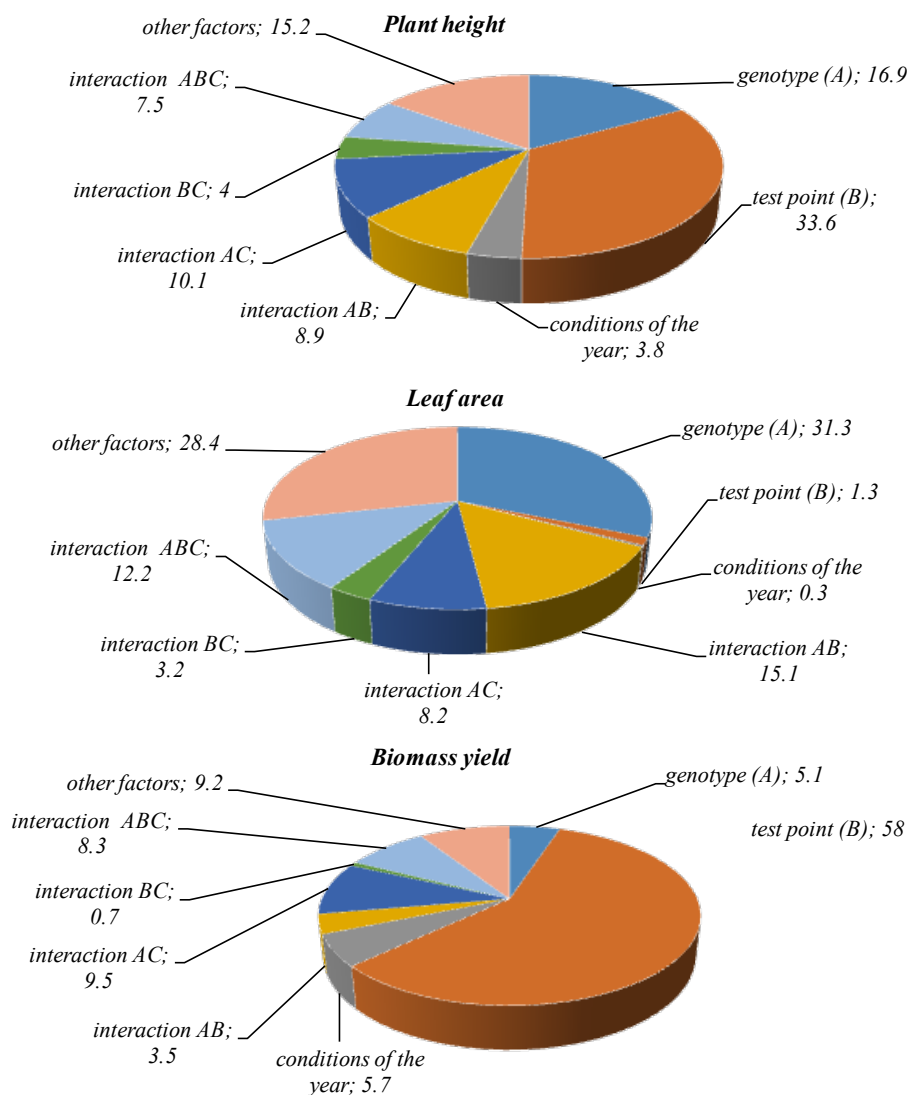


Fig. 2. The influence of the studied factors on the manifestation of the general variability of the trait (2020–2022)

Так, изменчивость высоты растений сахарного сорго обусловлена вкладом в основном пункта испытания (33,6 %) и генотипа (16,9 %). Доля метеорологических условий года составила всего 3,8 %, а взаимодействие факторов – от 4,0 до 10,1 % (рис. 2). Формирование урожайности биомассы испытываемых образцов в наибольшей степени зависело от микрозоны возделывания: в общей изменчивости признака доля фактора В составила 58,0 %. Вклад генотипа и условий года оказался равнозначным – 5,1 и 5,7 % соответственно. Причем взаимодействие факторов «генотип × условия года» и «генотип × пункт испытания × условия года» – 9,5 и 8,3 % соответственно. На изменчивость показателей листового аппарата растений в большей степени оказали влияние генотипические особенности образца (доля фактора А – 31,3 %), чем фактор внешней среды. Значительный вклад в общую изменчивость площади наибольшего листа внесли взаимодействие «генотип × пункт испытания» и «генотип × пункт испытания × условия года» – 15,1 и 12,2 % соответственно.

Измерение высоты растений сортов и гибрида сахарного сорго в среднем по пунктам выращивания позволило выделить пять высокорослых образцов – Волонтер, Калибр, Флагман, Севилья и Капитал (177,0–180,8 см). Условия среды также повлияли на проявление признака: растения в 2020 и 2022 гг. достигали в высоту 175,2–176,2 см, в то время как в 2021 г. – 167,9 см. Наиболее сильное влияние генотип-средового взаимодействия на изменчивость признака «высота растений» установлено у гибрида Калибр и сортов Флагман, Волонтер. Высота растений, произрастаемых в Кокшетау, оказалась ниже на 29,2–39,3 см по сравнению с возделыванием в Саратове. Наименьшая изменчивость признака выявлена у сорта Сахара: в условиях Саратова высота растений в среднем за 2020–2022 г. составила 172,1 см, а Кокшетау – 165,2 см. Данные результаты подтверждают значимое влияние фактора «пункт испытания»: в среднем по опыту высота растений в Кокшетау – 162,0 см, тогда как в Саратове – 184,2 см (таблица 2).

Агротехнологии

Таблица 2
Средние значения селекционных признаков сахарного сорго в зависимости от пункта и условий испытания

Сорт, гибрид	Пункт испытания	Высота растений, см		Площадь листа, см ²		Урожайность биомассы, т/га			
		2020	2021	2021	2022	2020	2021	2022	
Капитал	Кокшетау	166,5	157,3	186,1	287,8	12,33	10,72	13,59	
	Саратов	177,2	185,7	179,2	211,9	18,10	21,55	23,12	
Севиля	Кокшетау	170,3	152,1	179,5	147,0	13,08	9,62	8,69	
	Саратов	202,9	191,7	182,6	151,0	29,62	21,93	23,08	
Чайка	Кокшетау	156,9	143,4	162,7	244,7	15,00	12,16	14,11	
	Саратов	165,0	160,1	175,7	199,2	33,25	17,52	28,73	
Волжское 51	Кокшетау	162,6	147,0	154,1	209,6	18,92	17,40	16,26	
	Саратов	145,4	176,7	181,2	189,8	21,47	23,70	30,90	
Волонтер	Кокшетау	182,3	154,0	162,3	200,7	15,48	10,66	11,15	
	Саратов	203,6	193,7	188,9	183,6	35,02	22,72	22,63	
Калибр	Кокшетау	162,7	155,4	159,3	214,2	18,70	14,08	15,56	
	Саратов	209,9	192,0	193,3	207,8	27,90	20,45	26,93	
Сахара	Кокшетау	167,5	144,5	183,6	285,9	14,30	12,24	15,41	
	Саратов	183,6	164,3	168,5	192,0	39,67	20,55	21,08	
Флагман	Кокшетау	162,5	158,3	157,8	234,0	14,28	12,36	14,31	
	Саратов	183,8	210,5	194,6	210,6	17,35	23,95	25,52	
Среднее по условиям года		175,2 b	167,9 a	176,2 b	210,6	21,53 c	17,23 a	19,44 b	
Среднее по пунктам испытания									
Кокшетау						219,9 b		13,77 a	
Саратов						209,3 a		25,03 b	

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

Table 2
Average values of selection characteristics of sugar sorghum depending on the point and test conditions

Variety, hybrid	Test points	Plant height, cm		Leaf area, cm ²		Biomass yield, t/ha			
		2020	2021	2021	2022	2020	2021	2022	
Kapital	Kokshetau	166.5	157.3	186.1	287.8	12.33	10.72	13.59	
	Saratov	177.2	185.7	179.2	211.9	18.10	21.55	23.12	
Sevil'ya	Kokshetau	170.3	152.1	179.5	147.0	13.08	9.62	8.69	
	Saratov	202.9	191.7	182.6	151.0	29.62	21.93	23.08	
Chayka	Kokshetau	156.9	143.4	162.7	244.7	15.00	12.16	14.11	
	Saratov	165.0	160.1	175.7	199.2	33.25	17.52	28.73	
Volzhskoe 51	Kokshetau	162.6	147.0	154.1	209.6	18.92	17.40	16.26	
	Saratov	145.4	176.7	181.2	189.8	21.47	23.70	30.90	
Volonter	Kokshetau	182.3	154.0	162.3	200.7	15.48	10.66	11.15	
	Saratov	203.6	193.7	188.9	183.6	35.02	22.72	22.63	
Kalibr	Kokshetau	162.7	155.4	159.3	214.2	18.70	14.08	15.56	
	Saratov	209.9	192.0	193.3	207.8	27.90	20.45	26.93	
Sakhara	Kokshetau	167.5	144.5	183.6	285.9	14.30	12.24	15.41	
	Saratov	183.6	164.3	168.5	192.0	39.67	20.55	21.08	
Flagman	Kokshetau	162.5	158.3	157.8	234.0	14.28	12.36	14.31	
	Saratov	183.8	210.5	194.6	210.6	17.35	23.95	25.52	
Average on conditions of the year		175.2 b	167.9 a	176.2 b	210.6	21.53 c	17.23 a	19.44 b	
Average by test points									
Kokshetau						219.9 b		13.77 a	
Saratov						209.3 a		25.03 b	

Note. Data denoted by different letters significantly differ from each other at $p < 0.05$ in accordance with the Duncan multiple comparison test.

Параметры адаптивности образцов сахарного сорго по агрономическим признакам

Сорт, гибрид	Высота растений					Площадь листа					Урожайность биомассы				
	V, %	Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	bi	S% (RG)	V, %	Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	bi	S% (RG)	V, %	Стрессоустойчивость	Генетическая гибкость	bi	S% (RG)
Капитал	7,6	-31,9	173,3	0,76	4,27	11,1	-75,9	249,9	1,91	5,10	30,9	-12,4	16,90	0,69	16,54
Севиля	10,4	-50,8	177,5	1,19	3,96	30,5	-118,3	190,7	0,59	25,83	49,0	-20,9	19,15	1,17	7,16
Чайка	7,3	-32,3	159,5	0,66	3,59	13,7	-73,1	235,8	1,54	8,05	39,9	-21,1	22,75	1,32	7,74
Волжское 51	9,6	-35,8	163,3	0,62	7,83	11,7	-70,5	211,9	0,38	12,51	25,3	-14,6	23,60	0,64	16,34
Волонтер	11,2	-49,6	178,8	1,26	4,77	19,9	-77,4	202,4	0,79	15,08	47,1	-24,3	22,85	1,36	15,85
Калибр	12,5	-54,5	182,6	1,50	5,61	22,4	-109,3	181,5	-0,38	19,82	27,5	-13,8	21,00	0,87	7,17
Сахара	9,4	-39,1	164,1	0,63	6,98	21,9	-93,9	238,9	2,70	11,10	46,2	-27,5	25,95	1,32	26,26
Флагман	12,6	-52,7	184,2	1,38	6,63	11,9	-66,3	227,8	0,47	10,85	32,1	-13,1	18,95	0,64	20,51

Table 3

Adaptability parameters of sugar sorghum samples according to agronomic characteristics

Variety, hybrid	Plant height					Leaf area					Biomass yield				
	V, %	Stress resistance	Genetic flexibility	bi	S% (RG)	V, %	Stress resistance	Genetic flexibility	bi	S% (RG)	V, %	Stress resistance	Genetic flexibility	bi	S% (RG)
Kapital	7.6	-31.9	173.3	0.76	4.27	11.1	-75.9	249.9	1.91	5.10	30.9	-12.4	16.90	0.69	16.54
Sevil'ya	10.4	-50.8	177.5	1.19	3.96	30.5	-118.3	190.7	0.59	25.83	49.0	-20.9	19.15	1.17	7.16
Chayka	7.3	-32.3	159.5	0.66	3.59	13.7	-73.1	235.8	1.54	8.05	39.9	-21.1	22.75	1.32	7.74
Volzhsкое 51	9.6	-35.8	163.3	0.62	7.83	11.7	-70.5	211.9	0.38	12.51	25.3	-14.6	23.60	0.64	16.34
Volonter	11.2	-49.6	178.8	1.26	4.77	19.9	-77.4	202.4	0.79	15.08	47.1	-24.3	22.85	1.36	15.85
Kalibr	12.5	-54.5	182.6	1.50	5.61	22.4	-109.3	181.5	-0.38	19.82	27.5	-13.8	21.00	0.87	7.17
Sakhara	9.4	-39.1	164.1	0.63	6.98	21.9	-93.9	238.9	2.70	11.10	46.2	-27.5	25.95	1.32	26.26
Flagman	12.6	-52.7	184.2	1.38	6.63	11.9	-66.3	227.8	0.47	10.85	32.1	-13.1	18.95	0.64	20.51

Высокие значения площади наибольшего листа установлены у сортов Капитал, Чайка и Сахара. Величина признака составила 237,4–249,4 см² в среднем за период испытания. Выявлены значимые различия между величиной признака в пунктах выращивания: в Кокшетау площадь наибольшего листа оказалась равной 219,9 см², тогда как в Саратове – 209,3 см² в среднем по всем образцам. Следует отметить, что средний показатель площади наибольшего листа в каждый год оказался практически одинаковым и варьировал в интервале 210,6–217,8 см². Наиболее сильное влияние генотип-средового взаимодействия на изменчивость данного признака установлено практически у всех сортов, за исключением Волжского 51. Площадь наибольшего листа растений, произрастаемых в Кокшетау, оказалась ниже на 8,6 см² по сравнению с возделыванием в Саратове.

Наибольшая продуктивность биомассы в среднем по опыту установлена у пяти образцов – Чайка, Волжское 51, Волонтер, Калибр и Сахара (19,61–21,44 т/га). Причем в условиях 2020 г. всеми образцами сформирована наибольшая урожайность биомассы (21,53 т/га) по сравнению с 2022 г (19,44 т/га)

и 2021 г. (17,23 т/га). Кроме того, продуктивность сахарного сорго значительно изменялась в зависимости от микрозоны возделывания: в условиях Кокшетау урожайность биомассы составила 13,77 т/га в среднем по образцам, а Саратова – 25,03 т/га.

Данные таблицы 2 показывают, что сорта Волжское 51, Капитал, Флагман и гибрид Калибр снижают урожайность биомассы в 1,4–1,7 раза, тогда как Сахара, Чайка, Волонтер и Севиля – в 2,0–2,4 раза в зависимости от зоны выращивания. Высокую урожайность в условиях Кокшетау образовали гибрид Калибр (16,11 т/га) и сорт Волжское 51 (17,33 т/га); Саратова – сорта Сахара, Чайка, Волонтер (26,79–27,83 т/га).

Наименьшее варьирование признаков отмечено по высоте растений от 7,3 до 12,6 %. Более стабильные значения высоты растений в разных условиях проявились у сортов Чайка, Капитал, Волжское 51 и Сахара, что подтверждается слабой изменчивостью (V = 7,3–9,6 %). У пяти сортов (Капитал, Волжское 51, Чайка, Волонтер и Флагман) отмечено среднее варьирование площади наибольшего листа – 11,1–19,9 %. По урожайности биомассы коэффициенты вариации более высокие (25,3–49,0 %). Сорта Севи-

ля, Чайка, Волонтер и Сахара в благоприятных для развития и роста сахарного сорго климатических условиях более полно реализовывали генетический потенциал: вариабельность урожайности составила 39,9–47,1 % (таблица 3).

Показатель стрессоустойчивости характеризует уровень устойчивости сортов к возделыванию в условиях стресса. Чем меньше разрыв между значениями признака, тем выше его стрессоустойчивость. Этот показатель отражает возможность выращивания определенного генотипа в конкретной агроклиматической зоне [18]. Наименьший разрыв между минимальным и максимальным значениями высоты растений выявлен у сортов Капитал, Чайка, Волжское 51, Сахара (от –39,1 до –31,9); площади листа – сортов Флагман, Волжское 51, Капитал, Чайка (от –75,9 до –66,3); урожайности биомассы – сортов Капитал, Волжское 51, Флагман и гибрида Калибр (от –14,6 до –12,4).

Генетическая гибкость образца отражает степень соответствия между генотипом и факторами внешней среды, то есть способность генотипа формировать стабильный урожай в стрессовых и благоприятных условиях [18]. Наибольшую продуктивность в контрастных агроклиматических зонах возделывания формировали сорта Волжское 51 и Сахара. Незначительно по данному показателю отличались сорта Чайка и Волонтер. Генетическая гибкость данных образцов варьировала в пределах 22,75–25,95. По высоте растений выделились гибрид Калибр и сорт Флагман: показатель $(Y_{\min} + Y_{\max})/2$ составил 182,6–184,2. Высокие показатели генетической гибкости по площади наибольшего листа выявлены у сортов Капитал, Чайка и Сахара (235,8–249,9).

Регрессионный анализ позволил выявить сорта, значительно реагирующие на изменение агроклиматических зон выращивания. Коэффициент линейной регрессии по изученным хозяйственным признакам варьировал в следующих интервалах: $bi = 0,62–1,50$ по высоте растений; $bi = 0,64–1,39$ по урожайности биомассы. Отзывчивостью на условия возделывания по формированию высоты растений ($bi = 1,19–1,50$) обладают сорта Севилья, Волонтер, Флагман и гибрид Калибр; по площади наибольшего листа ($bi = 1,54–2,70$) – сорта Капитал, Чайка, Сахара; по урожайности биомассы ($bi = 1,17–1,36$) – сорта Севилья, Чайка, Волонтер и Сахара. Следует отметить, что продуктивный сорт Сахара (20,54 т/га в среднем по пунктам испытания) отличается сильным отклонением от линии регрессии по урожайности биомассы и высоте растений: $S \% (RG) = 26,26$ и 6,98.

Обсуждения и выводы (Discussion and Conclusion)

В результате промышленного использования сорта или гибрида, расширения посевных площадей целесообразно проводить агроэкологическое испы-

тание с целью объективной оценки их возделывания в различных почвенно-климатических условиях. Известно, что при агроэкологическом испытании у отдельных генотипов возникает высокая изменчивость их продуктивности и других хозяйственных признаков в зависимости от метеорологических условий года и зоны выращивания [19]. Выявление нормы реакции генотипов на изменение факторов внешней среды, изучение их взаимодействия достаточно широко используются селекционерами при оценке сортов многих сельскохозяйственных культур: подсолнечника [20], ячменя [21], кукурузы [22], зернового сорго [23], суданской травы [24].

В представленных исследованиях 2020–2022 гг. экологического изучения образцов сахарного сорго, проведенных в условиях различной степени тепло- и влагообеспеченности, разница суммы активных температур в пунктах испытания составляла 466,2–769,9 °С, а осадков – 17,0–106,1 мм. Такие контрастные климатические условия позволили всесторонне охарактеризовать адаптивную способность генотипов.

Статистическая обработка экспериментальных данных дисперсионным трехфакторным анализом подтвердила взаимодействие генотипа и среды, причем влияние всех изучаемых факторов, а также их взаимодействие оказалось существенным на 5-процентном уровне значимости. Наибольший вклад в общую изменчивость признаков «высота растений» и «урожайность биомассы» вносил фактор «пункт экологического испытания» (33,6–58,0 %), тогда как на площадь наибольшего листа существенное влияние оказал генотип (доля фактора составила 31,3 %).

С помощью оценки образцов сахарного сорго по параметрам адаптивности установлена различная реакция сортов на изменчивость экологических условий. Так, при средней интенсивности роста растений (161,2 см) и площади фотосинтезирующей поверхности (200,2 см²) сорт Волжское 51 формировал 21,44 т/га урожайности биомассы, которая в меньшей степени зависела от изменений метеорологических условий: генетическая гибкость (23,60), коэффициент линейной регрессии меньше единицы ($bi = 0,38–0,64$, а отклонения линейной регрессии $S \% (RG) = 7,73–16,64$). Причем генетическая гибкость сорта по урожайности биомассы подтверждается испытаниями, проведенными в других стрессовых условиях [25–26].

Сорт Капитал отличился стрессоустойчивостью по комплексу признаков, что свидетельствует о его адаптированности к данным условиям, хотя и урожайность всего 16,57 т/га.

Сорта Сахара, Чайка, Волонтер с более мощной площадью листовой поверхности (201,1–243,3 см²) характеризуются отзывчивостью на улучшение климатических условий ($bi = 1,17–1,32$) в сочета-

нии с высокими показателями генетической гибкости (22,75–25,95) формируют 19,61–20,80 т надземной биомассы с гектара посевов. Ранее было отмечено, что в результате многолетних испытаний сорт Чайка показал высокую засухоустойчивость и стабильность продуктивности в условиях Саратовской области, а в Республике Башкортостан – стрессоустойчивость [25; 26].

Среднепродуктивный и среднеранний сорт Севилья следует отнести к интенсивной фенотипически высокостабильной форме по двум из трех признаков ($bi = 1,17-1,19$). Также следует отметить высокую генетическую гибкость сорта и стрессоустойчивость в условиях Нижневолжского региона России [26].

Гибрид Калибр и сорт Флагман оказались стрессоустойчивыми по урожайности биомассы (–13,8...–13,1), формирование которой слабо зависело от метеорологических условий ($bi = 0,64-0,87$) Ак-

молинской и Саратовской областей. Вместе с тем гибрид Калибр отличался генетической гибкостью урожайности вегетативной массы и при испытании ранее в Республике Башкортостан [25].

Таким образом, испытания сахарного сорго в двух регионах – Нижнем Поволжье России и Северном Казахстане, – значительно различающихся по биоклиматическому потенциалу, позволили выделить сорта с высокой адаптивной способностью для их интродукции и расширения зоны соргосеяния, возделывание которых будет способствовать стабилизации валовых сборов вегетативной массы и применению в качестве сочных кормов для кормления сельскохозяйственных животных.

Благодарности (Acknowledgements)

Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства сельского хозяйства РФ по теме № 123011200031-6.

Библиографический список

1. Rakshit S., Ganapathy K. N., Gomashe S. S. et al. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data // *Euphytica*. 2012. Vol. 185. Pp. 465–479. DOI: 10.1007/s10681-012-0648-6.
2. Анискина Ю. В., Малиновская Е. В., Мицурова В. С., Велишаева Н. С., Колобова О. С., Шилов И. А. Исследование генетического разнообразия сорго с использованием технологии мультиплексного микросателлитного анализа // *Биотехнология и селекция растений*. 2019. № 2 (3). С. 20–29. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-3-01.
3. Ториков В. Е., Дронов А. В., Ториков В. В., Осипов А. А., Ланцев В. В. Ценность кукурузы, сорговых культур и их урожайность в зависимости от приемов выращивания // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 5 (75). С. 15–22.
4. Serba E. M., Rimareva L. V., Tran V. C., Overchenko M. B., Inगतova N. I., Pavlova A. A., Abramova I. M. The influence of the sorghum grain composition on the efficiency of its microbial conversion to ethanol and lysine // *Journal of Siberian Federal University. Biology*. 2022. No. 15 (3). Pp. 347–362. DOI: 10.17516/1997-1389-0392.
5. De Oliveira L. P., Carbal P. D. S., de Lima e Silva F. H., Neto A. R., Silva F. G., Pereira D. L. Performance and genetic diversity of pre-commercial sweet sorghum hybrids in Central-Western and Southern Brazil // *Renewable Energy*. 2022. Vol. 182 (C). Pp. 992–997. DOI: 10.1016/j.renene.2021.11.023.
6. Капустин С. И., Володин А. Б., Кухарук М. Ю., Капустин А. С. Оценка исходного материала для селекции высокосахаристых сортов и гибридов сорго // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 2. С. 43–50.
7. Бельченко С. А., Дронов А. В., Васькина Т. И. Особенности биологии, опыт возделывания и перспективы переработки сорго сахарного на Юго-Западе Центральной России // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. № 2 (46). С. 24–32. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-24-32.
8. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В. Использование сорго сахарного в качестве источника питательных веществ для человека (обзор литературы) // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 3 (63). С. 3–9.
9. Каменева О. Б., Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Семин Д. С., Калинин Ю. А. Сахарное сорго как сахаронос и альтернативный источник биоэнергии (обзор) // *АгроЭкоИнфо*. 2021. № 6. DOI: 10.51419/20216602.
10. Бойко В. С., Тимохин А. Ю., Володин А. Б., Нижельский Т. Н. Потенциал продуктивности сорго сахарного в южной лесостепи Западной Сибири // *Кормопроизводство*. 2022. № 4. С. 29–33.
11. Соколова Д. В. Оценка взаимодействия генотип-среда у сортов свеклы столовой коллекции ВИР // *Овощи России*. 2018. № 6. С. 26–30. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-6-26-30.
12. Левицкая Н. Г., Шаталова О. В., Иванова Г. Ф. Обзор средних и экстремальных характеристик климата Саратовской области во второй половине XX – начале XXI века // *Аграрный вестник Юго-Востока*. 2009. № 1. С. 30–34.
13. Агроклиматические ресурсы Акмолинской области: научно-прикладной справочник. Астана: ТОО «Институт географии» МОН РК, 2017. 133 с.

14. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Москва: Агропромиздат, 1989. 194 с.
15. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2005. № 6. С. 49–53.
16. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. No. 1. Pp. 36–40.
17. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). Москва: Книга, 2011. 352 с.
18. Орлянская Н. А., Чеботарев Д. С. Адаптивный потенциал исходного материала для селекции раннеспелых гибридов кукурузы в условиях Центрально-Черноземного региона // Сахар. 2022. № 12. С. 20–24. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-12-20-24.
19. Ndiaye M., Adam M., Ganyo K. K., Guissé A., Cissé N., Muller B. Genotype-Environment Interaction: Trade-Offs between the Agronomic Performance and Stability of Dual-Purpose Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Genotypes in Senegal // Agronomy. 2019. Vol. 9 (12). Article number 867. DOI: 10.3390/agronomy9120867.
20. Децына А. А., Илларионова И. В. Экологическое испытание новых сортов подсолнечника селекции ВНИИМК // Масличные культуры. 2019. № 2 (178). С. 22–26. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-2-178-22-26.
21. Курьлева А. Г. Адаптивная реакция сортов ячменя при экологическом испытании в условиях Удмуртской Республики // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. № 67 (6). С. 52–57. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57.
22. Сотченко Ю. В., Галговская Л. А., Теркина О. В., Романова А. Н., Поздняков А. Ю. Результаты изучения экологической адаптивности новых среднеспелых и среднепоздних гибридов кукурузы // Кукуруза и сорго. 2021. № 1. С. 25–30. DOI: 10.25715/p9251-5136-1331-p.
23. Барановский А. В., Курдюкова О. Н., Косогова Т. М., Гелюх В. Н. Урожайность, пластичность и стабильность современных гибридов зернового сорго в условиях Луганской области // Аграрный научный журнал. 2022. № 2. С. 8–13.
24. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 23 (3). С. 334–342. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342.
25. Биктимиров Р. А., Шакирзянов А. Х., Низаева А. А. Экологическая стабильность и пластичность кормового сорго в Республике Башкортостан // Достижения науки и техники АПК. 2019. № 8. С. 46–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10810.
26. Кибальник О. П., Ефремова И. Г., Семин Д. С. Адаптивная способность сортов сахарного сорго // Орошаемое земледелие. 2021. № 2 (33). С. 40–43. DOI: 10.35809/2618-8279-2021-2-4.

Об авторах:

Оксана Павловна Кибальник¹, кандидат биологических наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, ORCID 0000-0002-1808-8974, AuthorID 50108046; +7 927 119-18-40, kibalnik79@yandex.ru

Ильдар Маратович Богатов², докторант, ORCID 0000-0001-6667-281X, AuthorID 813364; +7 705 102-55-47, ibogatov@shokan.edu.kz

Дмитрий Сергеевич Семин¹, кандидат сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, ORCID 0000-0003-0442-6933, AuthorID 843021; +7 906 304-90-51, sds-balashov@yandex.ru

Ирина Григорьевна Ефремова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела сорговых культур, ORCID 0000-0002-7188-9332, AuthorID 982337; +7 937 268-48-57, efremova-irina1946irina@yandex.ru

Уалихан Малгаждарович Сагалбеков², доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID 0000-0002-2959-3802, AuthorID 574122; +7 705 292-80-09, sagalbekov52@mail.ru

¹ Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратов, Россия

² Кокшетауский университет имени Ш. Уалиханова, Кокшетау, Республика Казахстан

Ecological testing of sugar sorghum varieties in agro-climatic conditions of Russia and Kazakhstan

O. P. Kibalnik¹✉, I. M. Bogapov², D. S. Semin¹, I. G. Efremova¹, U. M. Sagalbekov²

¹Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

²Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Republic of Kazakhstan

✉E-mail: kibalnik79@yandex.ru

Abstract. The purpose is to assess the adaptability of sugar sorghum genotypes in various agro-climatic zones of cultivation. **Methods.** The reaction rate of 8 samples of sugar sorghum selected by Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn was evaluated based on the results of the 2020–2022 test in two ecological points: Saratov (Russia, Saratov region) and Kokshetau (Kazakhstan, Akmola region), characterized by different climatic conditions. Methods of cultivation of plants, accounting for yields are generally accepted for sorghum. The repetition in the experiment is threefold, the placement of plots is randomized. **Results.** According to the results of statistical analysis, the share of the studied factors in the overall variability of traits was established: the greatest contribution to the “plant height” and “biomass yield” was made by the factor “ecological testing point” (33.6–58.0 %), in the “area of the largest leaf” – “genotype” (31.3 %). It was found that in the conditions of Northern Kazakhstan, characterized by lower heat and moisture availability during sorghum testing (the difference in the sum of active temperatures reached 466.2–769.9 °C, and precipitation – 17.0–106.1 mm in comparison with the conditions of the Lower Volga region of Russia), the area of the largest leaf increased by 10.6 cm² on average for the group of genotypes studied at the same time, the height of plants and the yield of vegetative mass decreased by 22.2 cm and 11.26 t/ha, respectively. At the same time, varieties and hybrids have been identified that form a biomass yield of 20.54–21.44 t/ha on average during the test period – Chayka, Volzhskoe 51, Sakhara, Kalibr. **Scientific novelty.** For the first time, the possibility of growing varieties of sugar sorghum selected by Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn in the conditions of Northern Kazakhstan is presented. Thus, according to the complex of adaptability parameters in combination with high biomass productivity, on average, the Volzhskoe 51 variety was selected for the points of environmental testing.

Keywords: sorghum, yield, height, leaf area, reaction rate, adaptability, stress resistance.

For citation: Kibalnik O. P., Bogapov I. M., Semin D. S., Efremova I. G., Sagalbekov U. M. Ekologicheskoe ispytanie sortov sakharnogo sorgo v agroklimaticheskikh usloviyakh Rossii i Kazakhstana [Ecological testing of varieties of sugar sorghum in the agro-climatic conditions of Russia and Kazakhstan] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2023. No. 04 (233). Pp. 15–27. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-233-04-15-27. (In Russian.)

Date of paper submission: 16.02.2023, **date of review:** 03.03.2023, **date of acceptance:** 15.03.2023.

References

1. Rakshit S., Ganapathy K. N., Gomashe S. S. et al. GGE biplot analysis to evaluate genotype, environment and their interactions in sorghum multi-location data // Euphytica. 2012. Vol. 185. Pp. 465–479. DOI: 10.1007/s10681-012-0648-6.
2. Aniskina Yu. V., Malinovskaya E. V., Mitsurova V. S., Velishaeva N. S., Kolobova O. S., Shilov I. A. Issledovanie geneticheskogo raznoobraziya sorgo s ispol'zovaniem tehnologii mul'tipleksnogo mikrosatelitnogo analiza [Investigation of the genetic diversity of sorghum using multiplex microsatellite analysis technology] // Plant Biotechnology and Breeding. 2019. No. 2 (3). Pp. 20–29. DOI: 10.30901/2658-6266-2019-3-01. (In Russian.)
3. Torikov V. E., Dronov A. V., Torikov V. V., Osipov A. A., Lantsev V. V. Tsennost' kukuruzy, sorgovykh kul'tur i ikh urozhaynost' v zavisimosti ot priemov vyrashchivaniya [The value of corn, sorghum crops and their yield depending on cultivation techniques] // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2019. No. 5 (75). Pp. 15–22. (In Russian.)
4. Serba E. M., Rimareva L. V., Tran V. C., Overchenko M. B., Inyatova N. I., Pavlova A. A., Abramova I. M. The influence of the sorghum grain composition on the efficiency of its microbial conversion to ethanol and lysine // Journal of Siberian Federal University. Biology. 2022. No. 15 (3). Pp. 347–362. DOI: 10.17516/1997-1389-0392.
5. De Oliveira L. P., Carbal P. D. S., de Lima e Silva F. H., Neto A. R., Silva F. G., Pereira D. L. Performance and genetic diversity of pre-commercial sweet sorghum hybrids in Central-Western and Southern Brazil // Renewable Energy. 2022. Vol. 182 (C). Pp. 992–997. DOI: 10.1016/j.renene.2021.11.023.
6. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kukharuk M. Yu., Kapustin A. S. Otsenka iskhodnogo materiala dlya selektsii vysokosakharistykh sortov i gibridov sorgo [Evaluation of the source material for the selection of high-sugar

varieties and hybrids of sorghum] // Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2019. No. 2. Pp. 43–50. (In Russian.)

7. Bel'chenko S. A., Dronov A. V., Vas'kina T.I. Osobennosti biologii, opyt vozdeleyvaniya i perspektivy pererabotki sorgo sakharnogo na Yugo-Zapade Tsentral'noy Rossii [Features of biology, experience of cultivation and prospects of processing of sugar sorghum in the South-West of Central Russia] // Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii. 2019. No. 2 (46). Pp. 24–32. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-2-24-32. (In Russian.)

8. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V. Ispol'zovanie sorgo sakharnogo v kachestve istochnika pitatel'nykh veshchestv dlya cheloveka (obzor literatury) [The use of sugar sorghum as a source of nutrients for humans (literature review)] // Grain economy of Russia. 2019. No. 3 (63). Pp. 3–9. (In Russian.)

9. Kameneva O. B., Kibal'nik O. P., Efremova I. G., Semin D. S., Kalinin Yu. A. Sakharnoe sorgo kak sakharonos i al'ternativnyy istochnik bioenergii (obzor) [Sweet sorghum as a sucrose and an alternative source of bioenergy (review)] // AgroEcoInfo. 2021. No. 6. DOI: 10.51419/20216602. (In Russian.)

10. Boyko V. S., Timokhin A. Yu., Volodin A. B., Nizhel'skiy T. N. Potentsial produktivnosti sorgo sakharnogo v yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri [Productivity potential of sugar sorghum in the southern forest-steppe of Western Siberia] // Fudder production. 2022. No. 4. Pp. 29–33. (In Russian.)

11. Sokolova D. V. Otsenka vzaimodeystviya genotip-sreda u sortov svekly stolovoy kolleksii VIR [Evaluation of genotype-environment interaction in beet varieties of the VIR table collection] // Vegetable crops of Russia. 2018. No. 6. Pp. 26–30. DOI: 10.18619/2072-9146-2018-6-26-30. (In Russian.)

12. Levitskaya N. G., Shatalova O. V., Ivanova G. F. Obzor srednikh i ekstremal'nykh kharakteristik klimata Saratovskoy oblasti vo vtoroy polovine XX – nachale XXI veka [Review of average and extreme climate characteristics of the Saratov region in the second half of the XX – early XXI century] // Agrarnyy vestnik Yugo-Vostoka. 2009. No. 1. Pp. 30–34. (In Russian.)

13. Agroklimaticheskie resursy Akmolinskoy oblasti: nauchno-prikladnoy spravochnik [Agro-climatic resources of the Akmola region: scientific and applied reference book]. Astana: TOO "Institut geografii" MON RK, 2017. 133 p. (In Russian.)

14. Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Methods of state variety testing of agricultural crops]. Moscow: Agropromizdat, 1989. 194 p. (In Russian.)

15. Goncharenko A. A. Ob adaptivnosti i ekologicheskoy ustoychivosti sortov zernovykh kultur [On the adaptability and environmental sustainability of grain crop varieties] // Vestnik of the Russian Agricultural Sciences. 2005. No. 6. Pp. 49–53. (In Russian.)

16. Eberhart S. A., Russel W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. No. 1. Pp. 36–40.

17. Dospekhov B. A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy) [Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow: Kniga, 2011. 352 p. (In Russian.)

18. Orlyanskaya N. A., Chebotarev D. S. Adaptivnyy potentsial iskhodnogo materiala dlya selektsii rannespelykh gibridov kukuruzy v usloviyakh Tsentral'no-Chernozemnogo regiona [Adaptive potential of the source material for the selection of early ripe maize hybrids in the conditions of the Central Black Earth region] // Sugar. 2022. No. 12. Pp. 20–24. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-12-20-24. (In Russian.)

19. Ndiaye M., Adam M., Ganyo K. K., Guissé A., Cissé N., Muller B. Genotype-Environment Interaction: Trade-Offs between the Agronomic Performance and Stability of Dual-Purpose Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Genotypes in Senegal // Agronomy. 2019. Vol. 9 (12). Article number 867. DOI: 10.3390/agronomy9120867.

20. Detsyna A. A., Illarionova I. V. Ekologicheskoe ispytanie novykh sortov podsolnechnika selektsii VNIIMK [Ecological testing of new varieties of sunflower breeding VNIIMK] // Oil crops. 2019. No. 2 (178). Pp. 22–26. DOI: 10.25230/2412-608X-2019-2-178-22-26. (In Russian.)

21. Kuryleva A. G. Adaptivnaya reaktsiya sortov yachmenya pri ekologicheskom ispytanii v usloviyakh Udmurtskoy Respubliki [Adaptive response of barley varieties during ecological testing in the conditions of the Udmurt Republic] // Agricultural Science of the Euro-North-East. 2018. No. 67 (6). Pp. 52–57. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57. (In Russian.)

22. Sotchenko Yu. V., Galgovskaya L. A., Terkina O. V., Romanova A. N., Pozdnyakov A. Yu. Rezul'taty izucheniya ekologicheskoy adaptivnosti novykh srednespelykh i srednepozdnykh gibridov kukuruzy [Results of studying the ecological adaptability of new mid-ripening and mid-late corn hybrids] // Maize and sorghum. 2021. No. 1. Pp. 25–30. DOI: 10.25715/p9251-5136-1331-n. (In Russian.)

23. Baranovskiy A. V., Kurdyukova O. N., Kosogova T. M., Gelyukh V. N. Urozhaynost', plastichnost' i stabil'nost' sovremennykh gibridov zernovogo sorgo v Luganskoj oblasti [Productivity, plasticity and stability

of modern hybrids of grain sorghum in the conditions of the Luhansk region] // Agrarian scientific journal. 2022. No. 2. Pp. 8–13. (In Russian.)

24. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Ermolina G. M. Urozhaynost' sorgo travyanistogo v zavisimosti ot meteorologicheskikh usloviy [Grass sorghum yield depending on meteorological conditions] // Agrarian science of the Euro-North-East. 2022. No. 23 (3). Pp. 334–342. DOI: 10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342. (In Russian.)

25. Biktimirov R. A., Shakirzyanov A. Kh., Nizaeva A. A. Ekologicheskaya stabil'nost' i plastichnost' kormovogo sorgo v Respublike Bashkortostan [Ecological stability and plasticity of fodder sorghum in the Republic of Bashkortostan] // Achievements of Science and Technology of the AIC. 2019. No. 8. Pp. 46–49. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10810. (In Russian.)

26. Kibal'nik O. P., Efremova I. G., Semin D. S. Adaptivnaya sposobnost' sortov sakharnogo sorgo [Adaptive capacity of sweet sorghum varieties] // Irrigated Agriculture. 2021. No. 2 (33). Pp. 40–43. DOI: 10.35809/2618-8279-2021-2-4. (In Russian.)

Authors' information:

Oksana P. Kibalnik¹, candidate of biological sciences, chief researcher of the department of sorghum crop, ORCID 0000-0002-1808-8974, AuthorID 50108046; +7 927 119-18-40, kibalnik79@yandex.ru

Ildar M. Bogapov², doctoral student, ORCID 0000-0001-6667-281X, AuthorID 813364; +7 705 102-55-47, ibogapov@shokan.edu.kz

Dmitriy S. Semin¹, candidate of agricultural sciences, chief researcher of the department of sorghum crop, ORCID 0000-0003-0442-6933, AuthorID 843021; +7 906 304-90-51, sds-balashov@yandex.ru

Irina G. Efremova¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher of the department of sorghum crop, ORCID 0000-0002-7188-9332, AuthorID 982337; +7 937 268-48-57, efremova-irina1946irina@yandex.ru

Ualikhan M. Sagalbekov², doctor of agricultural sciences, professor, ORCID 0000-0002-2959-3802, AuthorID 574122; +7 705 292-80-09, sagalbekov52@mail.ru

¹ Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, Saratov, Russia

² Sh. Ualikhanov Kokshetau University, Kokshetau, Republic of Kazakhstan