



Селекционная ценность засухоустойчивых стерильных линий сорго

© 2023. О. П. Кибальник✉, Т. В. Ларина, О. Б. Каменева

ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», г. Саратов, Российская Федерация

В настоящее время селекционеры достаточно часто используют методы многомерной статистики для обработки большой совокупности экспериментальных данных. В данной статье для характеристики селекционной ценности 20 линий сорго с цитоплазматической мужской стерильностью (ЦМС-линий) в засушливых условиях возделывания применили кластерный анализ, позволяющий сгруппировать их в кластеры по схожим показателям из 15 анализируемых хозяйственно ценных и физиологических признаков. Испытания проводили в течение 2019–2021 гг., различающихся по метеорологическим условиям: гидротермический коэффициент составил 0,59–0,84 за период вегетации растений. ЦМС-линии высевали с плотностью стояния 100 тысяч растений на 1 гектар. Оценку селекционных и физиологических признаков проводили по общепринятым методикам. Для дальнейшей практической работы по результатам проведенных исследований выделены четыре ЦМС-линии сорго зернового (кластеры 2, 3, 5) по комплексу физиологических и селекционных признаков. Стерильные линии (A2 Восторг, M35-1A Пищевое 614, A3 Фетерита 14 и A2 КВВ 114) отличались наибольшей урожайностью семян (3,02–3,50 т/га), высокой оводненностью (72,7–73,7 %) и водоудерживающей способностью листьев (72,2–84,3 %), низким водным дефицитом (6,5–8,7 %). Изучение потери влаги в процессе естественного увядания листьев подтвердило высокую устойчивость к засухе в фазу «цветение» стерильной линии A2 КВВ 114, у которой интенсивность потери влаги через 1 ч составила всего 9,9 %, 1,5 ч – 15,8 % и 24 ч – 68,6 %. В селекции на повышение засухоустойчивости следует обратить внимание на ЦМС-линию A1 Ефремовское 2 (6 кластер), которая уступила вышеописанным линиям только по показателю водного дефицита (16,5 %), свидетельствующего о средней засухоустойчивости. Линия является наиболее высокорослой с крупными листьями (длина – 46,7 см, площадь – 163,8 см²) и в среднем формирует 3,21 т/га семян за представленный период. Использование полученных данных способствует ускорению селекционного процесса по созданию продуктивных засухоустойчивых гибридов F1 сорго.

Ключевые слова: ЦМС-линии, кластеризация, оводненность, водный дефицит, урожайность, зерно, биомасса

Благодарности: Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства сельского хозяйства РФ (тема №123020800159-3) и тематического плана ФГБНУ РосНИИСК «Россорго».

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Кибальник О. П., Ларина Т. В., Каменева О. Б. Селекционная ценность засухоустойчивых стерильных линий сорго. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(2):187-193.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193>

Поступила: 30.01.2023

Принята к публикации: 17.03.2023

Опубликована онлайн: 25.04.2023

Breeding value of drought-resistant sterile sorghum lines

© 2023. Oksana P. Kibalnik✉, Tatyana V. Larina, Olga B. Kameneva

Federal State Government-Funded Research Institution Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, Saratov, Russian Federation

Currently, breeders often use multidimensional statistics methods to process a large set of experimental data. To characterize the breeding value of 20 sorghum lines with cytoplasmic male sterility (CMS lines) under arid cultivation conditions, during the research there was applied a cluster analysis, allowing to group the lines into clusters according to similar indicators from 15 analyzed agronomic and physiological characteristics. The studies were carried out during 2019–2021, various in meteorological conditions: the hydrothermal coefficient was 0.59–0.84 during the vegetation period of plants. Cytoplasmic male sterility lines were sown at a density of 100 thousand plants per 1 hectare. Breeding and physiological traits were evaluated according to generally accepted methods. The assessment of agronomic and physiological characteristics was carried out according to generally accepted methods. For further practical work, based on the results of the conducted studies, four CMS lines of grain sorghum (clusters 2, 3, 5) were identified according to a complex of physiological and breeding characteristics. Sterile lines (A2 Vostorg, M35-1A Pischevoe 614, A3 Feterita 14 and A2 KVV 114) were distinguished by the highest seed yield of 3.02–3.50 t/ha, high water content (72.7–73.7 %) and water retention capacity of leaves (72.2–84.3 %), low water deficiency (6.5–8.7 %). The study of moisture loss during the natural wilting of leaves confirmed the high resistance to drought in the flowering phase of the sterile A2 KVV 114 line, in which the intensity of moisture loss after 1 hour was only 9.9 %, 1.5 h – 15.8 % and 24 h – 68.6 %. In breeding for increasing drought resistance the CMS-line A1 Efremovskoe 2 (the sixth cluster) should be noted, as it was inferior to the above-described lines only in terms of low water deficiency (16.5 %), indicating average drought resistance. The line is the tallest with large leaves (length – 46.7 cm, area – 163.8 cm²) and form 3.21 t/ha of seeds on average for the period presented. The use of the obtained data provides the increasing of the breeding process for the creation of productive drought-resistant F1 sorghum hybrids.

Keywords: CMS lines, clustering, hydration, water scarcity, yield, grain, biomass

Acknowledgements: The research was carried out within the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (theme No. 123020800159-3) and the thematic plan of the Russian Research Design and Technology Institute of Sorghum and Corn.

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interest: the authors stated that there was no conflict of interest.

For citation: Kibalnik O. P., Larina T. V., Kameneva O. B. Breeding value of drought-resistant sterile sorghum lines. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(2):187-193. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.2.187-193>

Received: 30.01.2023

Accepted for publication: 17.03.2023 Published online: 25.04.2023

Зерновое сорго является одной из важных сельскохозяйственных культур с широким спектром направления использования: кормовое, техническое и пищевое. Эта культура характеризуется способностью формировать достаточно высокие урожаи зерна и биомассы, даже на почвах с низким плодородием в острозасушливых условиях. Селекционерами проведена большая работа по выведению сортов и гибридов сорго, итогом которой стало включение в Государственный реестр РФ 140 селекционных достижений¹. При этом гибриды F1 составляют 11,4 % (всего 16) от зарегистрированных объектов селекционных достижений. В этой связи создание гибридов F1 сорго с высоким адаптивным потенциалом в настоящее время остается актуальной задачей.

Выведение гибридов сорго основано на включении в скрещивания материнской формы на основе стерильной цитоплазмы и отцовской – восстановителя фертильности (сортов или линий) [1]. Поэтому важным этапом в селекции на гетерозис является изучение компонентов скрещиваний по комплексу признаков (фенологических, физиологических, биологических, морфологических и элементов продуктивности). Обработать одновременно большой массив экспериментальных данных достаточно сложно, и этот процесс занимает длительное время. Использование методов многомерной статистики значительно облегчает задачу селекционерам и позволяет более точно подобрать исходный материал. Одним из таких методов является кластерный анализ, получивший распространение при изучении генофонда многих сельскохозяйственных культур – тритикале [2], пшеницы [3], кукурузы [4], гороха [5], нута [6] и других.

Цель исследований – оценка проявления засухоустойчивости и хозяйственно ценных признаков у ЦМС-линий зернового сорго для получения стрессоустойчивых гибридов F1.

Новизна исследований – впервые по результатам трехлетних испытаний коллекция ЦМС-линий зернового сорго разделена на кластеры, схожие по комплексу физиологических и агрономических признаков материнских форм.

Материал и методы. В качестве объектов исследований использовали 20 стерильных линий сорго с разными типами ЦМС (А1 Карлик 4в, А2 Карлик 4в, А3 Карлик 4в, А5 Карлик 4в и А6 Карлик 4в; А1 О-Янг 1; М35-1А Пищевое 614 и 9Е Пищевое 614; А2 Кремовое; А4 КП 70; А2 Тамара; А2 КВВ 181; А2 Восторг; А3 Фетерита 14; А3 Желтозерное 10, А4 Желтозерное 10, 9Е Желтозерное 10; А2 Судзерн; А2 КВВ 114 и А1 Ефремовское 2), ежегодно высеваемых на опытном поле института во 2-3 декадах мая в течение 2019-2021 гг. Площадь делянки – 7,7 м². Густота стояния растений составила 100 тыс. шт/га. Повторность трехкратная. Оценка показателей хозяйственных (высота растений, длина соцветия, параметры наибольшего листа, урожайность семян и биомассы) и физиологических признаков (оводненность тканей листьев, водный дефицит, водоудерживающая способность, потеря влаги листьями в течение суток: через 1 ч, 1,5 ч, 24 ч и в среднем за 1 ч в сутки) проводили согласно общепринятым методикам². Параметры водного режима наибольшего листа сорго определяли в фазу «цветение» с 4-5 растений каждой линии в двух повторениях.

Для определения оводненности тканей (ОТ) листья высушивали в термостате при температуре 105 °С до постоянной массы. Количество воды в процентах от сырой массы навески определяли по формуле:

$$ОТ = ((a - б) / a) \times 100,$$

где а – масса сырой навески, г; б – масса сухой навески, г.

¹Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том I. Сорта растений. М.: Изд-во ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. С. 65-67. URL: <https://gosreestrus.pdf>

²Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. Под общ. редакцией Г. В. Удовенко. Л.: Изд-во ВИР, 1988. 227 с.; Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Изд-во Агропромиздат, 1985. 267 с.

Потерю воды (ПВ) листьями в процентах определяли через 1 час, 1,5 и 24 часа путем взвешивания листьев в лаборатории на электронных весах, затем проводили расчет показателя по формуле:

$$ПВ = (В / А) \times 100,$$

где В – потеря воды за определенный промежуток времени, г; А – содержание воды в листьях до начала опыта, г.

Для определения водного дефицита (ВД) листья помещали в сосуд с водой и накрывали. После 24-часового насыщения листья промокали фильтровальной бумагой и взвешивали.

$$ВД = (M_2 - M_1) \times 100 / (M_2 - M_3),$$

где M_1 – масса листьев до насыщения водой, г; M_2 – масса листьев после 24-часового насыщения, г; M_3 – масса сухой навески, г.

Оценку засухоустойчивости линий сорго анализировали согласно классификации (табл. 1).

Таблица 1 – Шкала оценки параметров водного режима листьев для определения относительной засухоустойчивости (Павловская опытная станция ВИР)³, %

Table 1 – The scale of evaluation of the parameters of the water regime of leaves to determine the relative drought resistance (Pavlovskaya experimental station VIR)³, %

Оценка засухоустойчивости / Assessment of drought resistance	Оводненность листьев / Leaf water content	Водный дефицит / Water deficiency	Потеря воды листьями / Water loss by leaves	
			после увядания / after wilting	средняя за 1 ч увядания / average for 1 h of wilting
Низкая / Low	59,5 и менее / 59.5 and less	20,1 и более / 20.1 and more	50,1 и более / 50.1 and more	11,1 и более / 11.1 and more
Средняя / Average	60,0-69,9	10,1-20,0	30,1-50,0	10,1-11,0
Высокая / High	70,0 и более / 70.0 and more	до 10,0 / up to 10.0	до 30,0 / up to 30.0	до 10,0 / up to 10.0

Климатические условия исследуемого периода вегетации растений сорго отличались невысоким гидротермическим коэффициентом (ГТК), который варьировал в интервале 0,59-0,84. Наиболее засушливым был 2019 г. Режим влагообеспеченности определяли и за период «всходы-цветение» материнских форм. Установлено, что период данной фенофазы в 2019 г. также отличался острозасушливыми условиями (ГТК = 0,50) по сравнению с 2020-2021 гг. (ГТК = 0,63-0,74).

Статистическая обработка экспериментальных результатов исследований выполнена методами кластерного анализа по минимуму евклидоваго расстояния с помощью программы «Агрос 2.09».

Результаты и их обсуждение. В настоящее время отмечается учащение проявления засух и повышение среднесуточных температур воздуха в период вегетации сельскохозяйственных культур [7]. В сложившихся климатических условиях селекционную ценность исходного материала важно определять не только по хозяйственно ценным признакам, но и физиологическим, в том числе отражающим

засухоустойчивость. К таким показателям относятся параметры водного режима листьев [8, 9]. Следует отметить, что среди образцов сорго встречаются генотипы с хорошей переносимостью стресса на одной из стадий развития, тогда как в другой фенологический период этот образец может быть восприимчив к засухе [10]. В литературе отмечено, что наступление засухи в начальный период развития растений приводит к снижению темпов роста и развития, а во время и после фазы «цветение» способствует частичной или полной потере урожайности зерна [11, 12, 13]. Поэтому параметры водного режима листьев в наших исследованиях определяли у растений в фазу «цветение».

С целью группировки образцов проведена кластеризация по минимуму евклидовых расстояний 20 стерильных линий по 15 показателям в среднем за 2019-2021 гг. На 14 шаге итерации (минимум евклидовых расстояний равен 22,30) выделено 6 кластеров (рис.).

Достоверность различий между группами (кластерами) подтверждается результатами дисперсионного однофакторного анализа по большинству представленных признаков (табл. 2).

³Диагностика устойчивости растений к стрессовым воздействиям: методическое руководство. 1988.

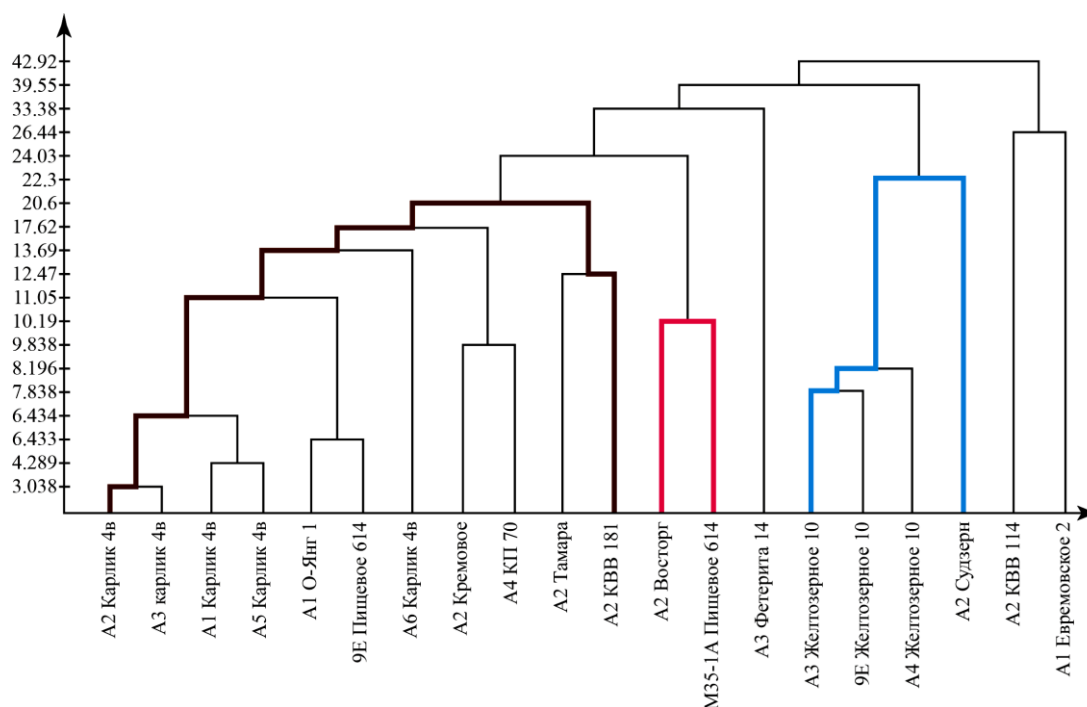


Рис. Дендрограмма сходства ЦМС-линий сорго по комплексу селекционных и физиологических признаков (среднее за 2019-2021 гг.) /

Fig. Dendrogram of similarity of CMS sorghum lines by a complex of breeding and physiological characteristics (average for 2019-2021)

В первый кластер включены 11 стерильных линий (с геномом Карлик 4в на основе ЦМС-типов А1, А2, А3, А5 и А6; А1 О-Янг 1; 9Е Пищевое 614; А2 Кремовое; А4 КП 70; А2 Тамара; А2 КВВ 181. Растения этой группы низкорослые (85,0 см) и малопродуктивные (урожайность семян – 2,96 т/га, биомассы – 11,23 т/га). Кроме того, средnezасухоустойчивые по показателю водного дефицита (11,4 %) и потерям влаги листьев (от 19,4 до 69,3 %).

Второй кластер представлен двумя низкорослыми ЦМС-линиями (95,9 см) А2 Восторг и М35-1А Пищевое 614 с длинным соцветием (22,2 см) и крупным наибольшим листом (длина – 45,0 см, площадь – 170,6 см²), семенной продуктивностью – 3,50 т/га. Это засухоустойчивые линии по комплексу признаков: оводненность (73,7 %), водоудерживающая способность (72,2 %) и водный дефицит (7,6 %).

Третий кластер состоит из одной засухоустойчивой и продуктивной стерильной линии А3 Фетерита 14, что подтверждается высокой общей оводненностью (73,7 %) и водоудерживающей способностью листьев (74,9 %), низким водным дефицитом (8,7 %), урожайностью зерна и биомассы – 3,18 и 19,55 т/га соответственно, а также самыми крупными семенами (масса 1000 зерен – 41,2 г).

Четвертый кластер объединяет ЦМС-линии с геномом Желтозерное 10 на основе стерильных цитоплазм А3, А4, 9Е и А2 Судзерн. Это единственная из рабочей коллекции стерильных линий группа, характеризующаяся как средnezасухоустойчивая по трем показателям водного режима листьев: оводненность тканей – 67,8 %, водный дефицит – 13,1 % и водоудерживающая способность листьев – 69,7 %. Растения отличаются длинными и узкими листьями (42,2 и 3,7 см соответственно), крупностью зерна (масса 1000 зерен – 36,5 г).

В пятый кластер вошла наиболее засухоустойчивая и низкорослая линия А2 КВВ 114 (80,7 см) со средней длиной соцветия (20,6 см), у которой оводненность тканей – 72,7 %, самый низкий показатель водного дефицита – 6,5 %, высокая водоудерживающая способность – 84,3 %. Преимуществом данной линии является способность удерживать влагу в процессе естественного увядания. Так, через 1,0-1,5 ч увядания потеря влаги по изучаемой группе ЦМС-линий определена минимальной и составила 9,9-15,8 %.

Шестой кластер состоит из А1 Евремовское 2, которая несмотря на высокую оводненность тканей листьев (72,2 %) и водоудерживающую способность (81,1 %) отличается наибольшим дефицитом влаги в них (16,5 %).

Таблица 2 – Показатели физиологических и селекционных признаков ЦМС-линий сорго, включенных в кластеры (среднее за 2019-2021 гг.) /
Table 2 – Indicators of physiological and breeding characteristics of CMS sorghum lines included in clusters (average for 2019-2021)

Кластер / Cluster	Оводненность, % / Water content, % /	Водный дефицит, % / Water deficit, % /	Водоретention, % / Water-retaining capacity, %	Потеря влаги листьями, % / Loss of water by leaves, %				Высота растений, см / Plant height, cm	Длина метелки, см / Panicle length, cm	Площадь листа, см ² / Leaf area, cm ²	Длина листа, см / Leaf length, cm	Ширина листа, см / Leaf width, cm	Урожайность зерна, т/га / Grain yield, t/ha	Урожайность биомассы, т/га / Biomass yield, t/ha	Урожайность зерна, т/га / Grain yield, t/ha	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g
				1 ч / hour	1,5 ч / hour	24 ч / hour	в среднем за 1 ч/сут / on average for 1 hour/day									
1	72,8	11,4	70,2	19,4	30,0	69,3	2,9	85,0	21,9	122,3	35,7	4,6	2,96	11,23	2,96	28,2
2	73,7	7,6	72,2	19,7	27,8	68,9	2,8	95,9	22,2	170,6	45,0	5,2	3,50	11,24	3,50	30,5
3	73,7	8,7	74,9	15,3	25,1	70,4	2,9	103,9	14,2	149,9	37,1	5,5	3,18	19,55	3,18	41,2
4	67,8	13,1	69,7	17,9	30,4	64,4	2,7	101,2	17,1	115,6	42,2	3,7	2,37	12,88	2,37	36,5
5	72,7	6,5	84,3	9,9	15,8	68,6	2,9	80,7	20,6	121,7	37,8	4,3	3,02	13,18	3,02	20,7
6	72,2	16,5	81,1	12,8	18,9	67,4	2,8	111,1	19,4	163,8	46,7	4,7	3,21	12,80	3,21	22,8
Среднее / Average	71,9	11,2	71,8	8,1	28,5	68,3	2,8	91,4	20,4	129,2	38,6	4,5	2,92	11,51	2,92	30,1
F ₀₅	9,71*	5,22*	8,79*	4,30*	10,14*	4,29*	4,51*	1,00	6,31*	7,92*	7,10*	8,67*	2,87	1,44	2,87	6,05*
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	2,53	3,65	4,95	4,63	4,54	3,48	0,14	–	3,67	24,02	5,42	0,63	–	–	–	7,47

* p ≤ 0,05

К положительным физиологическим особенностям данной линии следует отнести и невысокие потери влаги листьями в процессе увядания в сравнении с представителями 1-4 кластеров: 12,8 % – через 1 ч; 18,9 % – через 1,5 ч; 67,4 % – через 24 ч. В условиях исследуемого периода растения ЦМС-линии достигали высоты 111,1 см и формировали хорошую фотосинтезирующую поверхность: длина листа – 46,7 см, площадь – 163,8 см².

Известно, что для промышленного выращивания гибридов сорго в засушливых условиях необходимо подбирать родительские формы, устойчивые к факторам внешней среды, в том числе засухе. Устойчивость растений к абиотическим стрессорам обусловлена наличием мощной корневой системы, воскового налета и ксероморфности листьев, а также поддержанием водного баланса в клетках и тканях [14]. Исследователями отмечена различная реакция генотипов сорго на стрессоустойчивость в зависимости от условий выращивания: адаптированные к засушливым и полузасушливым условиям сорта отличаются большей засухоустойчивостью в сравнении с сортами, возделываемыми в более влажных условиях [13, 15]. Ранее нами отмечено, что растения ЦМС-линий проявляли дифференцированную реакцию при изменении метеорологических условий в период цветения на показатели водного режима листьев. Причем, у изоядерных ЦМС-линий с геномом Желтозерное 10 на цитоплазмах типа А3 и 9Е, а также с геномом Карлик 4в на цитоплазме А5 отмечено влияние стерильной цитоплазмы на повышение устойчивости растений [16].

Заключение. На основе данных испытаний 20 ЦМС-линий сорго зернового (2019-2021 гг.) проведен кластерный анализ, который позволил сгруппировать их по сходству проявления селекционных и физиологических признаков. Стерильные линии 2, 3 и 5 кластеров целесообразно включать в гибридизацию для выведения засухоустойчивых гибридов F₁ с улучшенными хозяйственно ценными признаками. Четыре стерильные линии, полученные на основе разных типов ЦМС-индуцирующих цитоплазм – А2 Восторг, М35-1А Пищевое 614,

А3 Фетерита 14 и А2 КВВ 114, – характеризуются высокой оводненностью (72,7-73,7 %) и водоудерживающей способностью листьев (72,2-84,3 %), а также низким водным дефицитом (6,5-8,7 %) в критическую для сорго фазу «цветение». Кроме того, у стерильной линии А2 КВВ 114 выявлена низкая интенсивность потери влаги листьями в процессе есте-

ственного увядания: через 1 ч – 9,9 %, 1,5 ч – 15,8 % и 24 ч – 68,6 %. Данные ЦМС-линии в засушливых условиях способны формировать 3,02-3,50 т/га семян при общей урожайности биомассы 11,24-19,55 т/га. Полученные сведения следует использовать в дальнейшей практической селекции на повышение засухоустойчивости гибридов сорго зернового.

Список литературы

1. Кибальник О. П. Комбинационная способность ЦМС-линий зернового сорго на основе А1, А2, А3, А4, 9Е и М-35-1А типов цитоплазматической мужской стерильности. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(6):651-656. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.282> EDN: ZOFJBF
2. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Гильмуллина Л. Ф., Маннапова Г. С., Хусаинова Н. Ш., Гадальзянова Г. М. Агроэкологическая оценка и кластерный анализ сортов и селекционных линий тритикале Российской селекции. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(6):41-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26591641> EDN: WJXNMF
3. Гречишкина О. С., Хутамбирдина Р. Д., Мордвинов М. П. Изучение генофонда рабочей коллекции яровой мягкой пшеницы по урожайности и структурным элементам урожая с использованием кластерного анализа. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;6(92):24-30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47395367> EDN: KRHWKZ
4. Перевязка Д. С., Перевязка Н. И., Супрунов А. И. Кластерный анализ нового исходного материала для создания раннеспелых и среднеранних гибридов кукурузы. Рисоводство. 2021;4(53):30-35. DOI: <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2021-53-4-30-35> EDN: JUAETS
5. Ашиев А. Р., Хабибуллин К. Н., Скулова М. В., Чегунова А. В. Кластерный анализ коллекционного материала гороха с генами усатого типа листа (*af*) и неосыпаемости семян (*def*). Зерновое хозяйство России. 2021;(2(74)):40-44. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44> EDN: DUSXER
6. Вус Н. А., Кобызева Л. Н., Безуглая О. Н. Определение селекционной ценности коллекционных образцов нута (*Cicer arietinum* L.) методом кластерного анализа. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020;24(3):244-251. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.617> EDN: DDEONR
7. Левицкая Н. Г., Демакина И. И. Современные изменения климата Саратовской области и стратегия адаптации к ним селекции и агротехнологий. Успехи современного естествознания. 2019;(10):7-12. DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37206> EDN: GTBQFK
8. Головина Е. В., Зайцев В. Н. Влияние погодных условий на водный режим, пигментный комплекс и продуктивность сои. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(2(18)):111-116. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26280838> EDN: WDCRUP
9. Ионова Е. В., Газе В. Л., Марченко Д. М., Некрасов Е. И. Показатели водного режима растений озимой мягкой пшеницы при различных условиях выращивания. Аграрный вестник Урала. 2014;(10(128)):18-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22467808> EDN: SXRGAP
10. Emendack Y., Burke J., Sanchez J., Laza H. E., Hayes C. Agro-morphological characterization of diverse sorghum lines for pre- and post-flowering drought tolerance. Australian Journal of Crop Science. 2018;12(01):135-150. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pne790>
11. Phuong N., Afolayan G., Soda M. El., Stützel H., Wenzel W., Uptmoor R. Genetic Dissection of Pre-Flowering Growth and development in *Sorghum bicolor* L. Moench under Well-Watered and Drought Stress Conditions. Agricultural Science. 2014;5(11):923-934. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2014.511100>
12. Amelework B., Shimelis H., Tongoona P., Laing M. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: a review. African Journal Agricultural Research. 2015;10(31):3029-3040. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9595>
13. Ионова Е. В., Алабушев А. В. Засухоустойчивость сорго зернового. Европейский журнал социальных наук. 2011;5(8):485-489. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19094429> EDN: QBVXZD
14. Abraha T., Githiri S., Kasili R., Araia W., Nyende A. Genetic Variation among Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Landraces from Eritrea under Post-Flowering Drought Stress Conditions. American Journal of Plant Sciences. 2015;6(9):1410-1424. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.69141>
15. Blum A., Sullivan C. Y. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid region. Annals of Botany. 1986;57(6):835-846. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087168>
16. Кибальник О. П., Ларина Т. В., Каменева О. Б., Семин Д. С. Оценка засухоустойчивости ЦМС-линий сорго на основе различных источников стерильности. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(4):9-17. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17> EDN: BLQLPP

References

1. 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. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(6):651-656. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.282>
2. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Gilmullina L. F., Mannapova G. S., Khusainova N. Sh., Gadalyanova G. M. agroecological evaluation and cluster analysis of varieties and breeding lines of russian breeding triticale. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(6):41-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26591641>

3. Grechishkina O. S., Khutambirdina R. D., Mordvintsev M. P. Study of the gene pool of the working collection of spring soft wheat by yield and structural elements of the yield using cluster analysis. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;6(92):24-30. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47395367>
4. Perevyazka D. S., Perevyazka N. I., Suprunov A. I. Cluster analysis of a new initial material for the creation of early and medium corn hybrids. *Risovodstvo*. 2021;4(53):30-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33775/1684-2464-2021-53-4-30-35>
5. Ashiev A. R., Khabibullin K. N., Skulova M. V., Chegunova A. V. Cluster analysis of collection material of peas with genes of leafless type (*af*) and non-shedding seeds (*def*). *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;(2(74)):40-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-74-2-40-44>
6. Vus N. A., Kobyzeva L. N., Bezuglaya O. N. Determination of the breeding value of collection chickpea (*Cicer arietinum* L.) accessions by cluster analysis. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020;24(3):244-251. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ20.617>
7. Levitskaya N. G., Demakina I. I. Modern climate characters of the Saratov region and adaptation strategy of breeding and agrotechnologies to them. *Uspekhi sovremennoy estestvoznaniya*. 2019;(10):7-12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/use.37206>
8. Golovina E. V., Zajcev V. N. Influence of weather conditions on a water regime, pigmentary complex and productivity of soya. *Zernobovoye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2016;(2(18)):111-116. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26280838>
9. Ionova E. V., Gaze V. L., Marchenko D. M., Nekrasov E. I. Figures of water regime for mild winter wheat under different growing conditions. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2014;(10(128)):18-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22467808>
10. Emendack Y., Burke J., Sanchez J., Laza H. E., Hayes C. Agro-morphological characterization of diverse sorghum lines for pre- and post-flowering drought tolerance. *Australian Journal of Crop Science*. 2018;12(01):135-150. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.18.12.01.pnc790>
11. Phuong N., Afolayan G., Soda M. El., Stützel H., Wenzel W., Uptmoor R. Genetic Dissection of Pre-Flowering Growth and development in *Sorghum bicolor* L. Moench under Well-Watered and Drought Stress Conditions. *Agricultural Science*. 2014;5(11):923-934. DOI: <https://doi.org/10.4236/as.2014.511100>
12. Amelework B., Shimelis H., Tongoona P., Laing M. Physiological mechanisms of drought tolerance in sorghum, genetic basis and breeding methods: a review. *African Journal Agricultural Research*. 2015;10(31):3029-3040. DOI: <https://doi.org/10.5897/AJAR2015.9595>
13. Ionova E. V., Alabushev A. V. Drought resistance of grain sorghum. *Evropeyskiy zhurnal sotsial'nykh nauk* = European Social Science Journal. 2011;5(8):485-489. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19094429>
14. Abraha T., Githiri S., Kasili R., Araia W., Nyende A. Genetic Variation among Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Landraces from Eritrea under Post-Flowering Drought Stress Conditions. *American Journal of Plant Sciences*. 2015;6(9):1410-1424. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.69141>
15. Blum A., Sullivan C. Y. The comparative drought resistance of landraces of sorghum and millet from dry and humid region. *Annals of Botany*. 1986;57(6):835-846. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087168>
16. Kibalnik O. P., Larina T. V., Kameneva O. B., Semin D. S. Assessment of drought resistance in sorghum CMS lines based on various sterility sources. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):9-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-9-17>

Сведения об авторах

✉ **Кибальник Оксана Павловна**, кандидат биол. наук, главный научный сотрудник отдела сорговых культур, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>, e-mail: kibalnik79@yandex.ru

Ларина Татьяна Витальевна, научный сотрудник отдела биохимии, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3845-6578>

Каменева Ольга Борисовна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии, ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы», 1-й Институтский пр-д, 4, г. Саратов, Российская Федерация, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1583-7711>

Information about the authors

✉ **Oksana P. Kibalnik**, PhD in Biological Science, chief researcher, the Department of Sorghum Crops, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1808-8974>, e-mail: kibalnik79@yandex.ru

Tatyana V. Larina, researcher, the Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3845-6578>

Olga B. Kameneva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Biochemistry and Biotechnology, Russian Research Design and Technology Institute for Sorghum and Corn, 1-i Institutskii proezd, 4, Saratov, Russian Federation, 410050, e-mail: rossorgo@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1583-7711>

✉ – Для контактов / Corresponding author