

КОЛЛЕКЦИИ МИРОВЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СЕЛЕКЦИИ

Научная статья

УДК 635.65:633.37:631.52

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-93-105



Фенотипирование образцов гуара из коллекции ВИР в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области

М. А. Вишнякова¹, Е. А. Дзюбенко¹, Н. В. Кочерина^{1,3}, М. М. Агаханов², Р. А. Шаухаров²

¹ Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное исследовательское учреждение Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, Краснослободск, Россия

³ Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Маргарита Афанасьевна Вишнякова, m.vishnyakova.vir@gmail.com

Актуальность. Гуар (*Cyatopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) – новый интродуцент в ряде южных регионов Российской Федерации. Гуаровая камедь, ингредиент семян гуара, применяется в разных отраслях народного хозяйства и имеет стратегическое значение в газонефтяной промышленности. Для адресной интродукции необходимо выяснить адаптивный потенциал культуры, в частности ее отношение к засухе, которая характерна для большинства южных областей России.

Материал и методы. Объектом исследования служили 50 образцов гуара из коллекции ВИР, полевое фенотипирование которых проводили на Волгоградской опытной станции – филиале ВИР. Выборка создана по принципу максимальной репрезентативности генофонда культуры. Пятьдесят образцов изучали в 2023 г. и 30 наиболее продуктивных из них в 2024 г. в режимах капельного полива (П) разной степени интенсивности и искусственной засухи (З), создаваемой с начала плодообразования и до уборки. Исследование осуществляли в соответствии с методическими указаниями ВИР. Статистическая обработка данных проведена в программе Statistica 13.3.

Результаты. Главным оценочным критерием адаптивности к засухе считали семенную продуктивность растения, по которой выявлена дифференциация изученной выборки на три группы: толерантные к засухе, чувствительные к ней и нейтральные по отношению к водоснабжению. Изучаемые признаки проявляли разную степень изменчивости в режимах П и З. Показано сохранение выявленного по отношению к засухе статуса у большинства образцов в оба года исследования. Определены наиболее продуктивные образцы во всех трех группах.

Заключение. Режим точечного полива, использованный в 2023 г. (5 л/растение в неделю), оказался излишним для большинства изученных образцов. Примененный в 2024 г. вдвое меньший объем полива, судя по семенной продуктивности, был благоприятным для всех групп образцов. Независимо от группы, большинство образцов обнаружили тенденцию увеличения семенной продуктивности на оптимальном поливе.

Ключевые слова: гуар, интродукция, адаптивность, полив, искусственная засуха, семенная продуктивность

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-16-00195 от 15 мая 2023 г.

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

Для цитирования: Вишнякова М.А., Дзюбенко Е.А., Кочерина Н.В., Агаханов М.М., Шаухаров Р.А. Фенотипирование образцов гуара из коллекции ВИР в условиях полива и искусственной засухи в Волгоградской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2025;186(1):93-105. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-93-105

COLLECTIONS OF THE WORLD'S CROP GENETIC RESOURCES FOR THE DEVELOPMENT OF PRIORITY PLANT BREEDING TRENDS

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-93-105

Phenotyping of guar accessions from the VIR collection under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Province

Margarita A. Vishnyakova¹, Elena A. Dzyubenko¹, Natalia V. Kocherina^{1,3}, Magamedgusein M. Agakhanov², Ramazan A. Shaukharov²

¹ N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

² N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station – branch of VIR, Krasnoslobodsk, Russia

³ Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Margarita A. Vishnyakova, m.vishnyakova.vir@gmail.com

Background. Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) is a newly introduced crop for southern regions of Russia. Guar gum, a component of guar seeds, is used in a number of sectors of the national economy, being strategically important for the gas and oil industry. Targeted introduction of guar requires better understanding of the crop's adaptive potential, and more specifically, its responses to droughts typical for most of Russia's southern areas.

Material and methods. Guar accessions from the VIR collection were phenotyped at Volgograd Experiment Station of VIR in 2023–2024. The studied set was selected to represent the crop's gene pool to the fullest extent possible. The same accessions were studied under drip irrigation and artificial drought conditions. The study was performed according to the guidelines developed at VIR. Statistica 13.3 software was used for statistical data processing.

Results. Seed productivity was accepted as the main criterion to assess the plant's adaptability to drought. On its basis, the studied set of accessions was differentiated into three groups: drought-tolerant, sensitive to drought, and neutral to water supply. The analyzed indicators manifested different degrees of variability under the conditions of irrigation and drought. The status revealed for the majority of accessions in the context of their responses to drought remained unchanged in both years of the study.

Conclusion. The drip irrigation scheme used in 2023 (5 L per plant per week) turned out to be excessive for most accessions, while the one half as lower in 2024 (2.5 L per plant per week) appeared favorable for the accessions of all three groups. With optimal irrigation, a majority of guar accessions exhibited a tendency toward increased seed productivity, regardless of the group.

Keywords: guar, introduction, adaptability, irrigation, artificial drought, seed productivity

Acknowledgements: this research was funded by the Russian Science Foundation (Project No. 23-16-00195 of May 15, 2023). The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

For citation: Vishnyakova M.A., Dzyubenko E.A., Kocherina N.V., Agakhanov M.M., Shaukharov R.A. Phenotyping of guar accessions from the VIR collection under irrigation and artificial drought conditions in Volgograd Province. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2025;186(1):93-105. DOI: 10.30901/2227-8834-2025-1-93-105

Введение

Гуар – однолетнее самоопыляющееся растение из семейства Fabaceae – новый интродуцент в Российской Федерации (РФ). Растение имеет стратегическое значение в силу широкого применения получаемой из семян камеди (углевод галактоманнан) в газонефтяной, бумажной, текстильной, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности. Ежегодная потребность различных отраслей экономики России – не менее 15 тыс. тонн гуаровой камеди. Наша страна входит в пятерку ее топ-потребителей и вынуждена закупать этот ценный продукт за рубежом. Основное производство гуара сосредоточено в Индии и Пакистане (Startsev et al., 2017). В этой связи интродукция сельскохозяйственной культуры гуара, создание новых сортов, агроэкологическое испытание их в различных регионах РФ – актуальная и востребованная тема исследований.

Оптимальными условиями для производства гуара считают сумму эффективных температур воздуха выше 10°C не менее 3400–3500°C, а достаточным количеством осадков – 350–500 мм за вегетационный период. Имеющийся пока еще довольно ограниченный опыт получения производственных партий кондиционных семян в фермерских хозяйствах Краснодарского и Ставропольского краев, Астраханской и Ростовской областей внушает оптимизм по поводу перспективы использования отечественного сырья для получения камеди. Экспериментальные партии камеди, извлеченной из выращенных в РФ семян, показали, что по количеству и качеству она соответствует требуемым нормативам (Dzyubenko N.I. et al., 2017; Kruchina-Bogdanov et al., 2019; Dzyubenko E.A. et al., 2023). Это послужило импульсом для мобилизации нового материала в коллекцию ВИР, которая в наши дни насчитывает 206 образцов, инициировало исследования культуры (Kruchina-Bogdanov et al., 2019; Rakovskaya et al., 2019; Dzyubenko E.A. et al., 2023) и ее отечественную селекцию. В Государственном реестре селекционных достижений 2024 г. – 16 сортов гуара, из которых 15 созданы селекционерами РФ (<https://gossortrf.ru/registry/>).

Особенно актуально на данном этапе знание разнообразия генофонда по отношению к условиям выращивания, к биотическим и абиотическим стрессорам, в частности к засухе.

Гуар считается умеренно засухоустойчивым растением. Однако в Индии – ведущем производителе и экспортере семян гуара – его выращивают в разных эколого-географических нишах, на поливе и без полива. Неоднократно показана (Ashraf et al., 2002; Ali et al., 2015; Zubair et al., 2017; Meftahizadeh et al., 2019; Avola et al., 2020; Pandey et al., 2022), в том числе нами (Vishnyakova et al., 2024), генотипическая изменчивость реакции растений гуара на стресс засухи. В генбанках мира имеются образцы, идентифицированные как толерантные и восприимчивые к засухе (см. обзор Vishnyakova et al., 2023). Для адресного использования генофонда гуара в южных широтах РФ, где наблюдаются очень разные режимы увлажнения даже в пределах одной области (Gudko et al., 2024), знание дифференциации используемого материала по отношению к засухе крайне необходимо. Выявление адаптивного потенциала культуры – насущная задача также для вовлечения в российскую селекцию наиболее перспективных генотипов.

Поэтому целью нашей работы, результаты которой изложены в данной статье, была оценка проявления ре-

акции образцов гуара из коллекции ВИР на стрессор временной (искусственной) засухи на уровне фенотипа в условиях Волгоградской области.

Материал, место и методы исследования

Изучали 50 образцов гуара из коллекции ВИР. Выборку создали по принципу максимальной репрезентативности генофонда культуры по географическому происхождению, селекционному статусу (15 сортов научной селекции, 3 – селекционные линии, остальные – местные сорта), по габитусу растений и т. п.

Полевое фенотипирование проводили в 2023–2024 гг. на Волгоградской опытной станции – филиале ВИР (Волгоградская ОС ВИР). Станция расположена в г. Краснослободске на противоположном от Волгограда берегу Волги (48°42' с. ш. 44°34' в. д.). Климат умеренно континентальный. Весна засушливая, с быстрым повышением дневных температур и частыми сильными ветрами. Лето сухое, знойное. Почвы – аллювиальные суглинки.

Экспериментальное поле разделили на две равные части: контроль – полив (П) и опыт – искусственная засуха (З). На каждой половине высевали один и тот же набор образцов. Над полем поставили тент из полиэтилена во избежание попадания естественных осадков.

В 2023 г. посев 50 образцов производили 28 апреля. На экспериментальных делянках площадью 1 м² семена высевали вручную в хорошо прогретую и предварительно пролитую почву с заглублением 3–5 см на расстоянии 10–15 см. Применяли систему капельного орошения с ориентацией на хорошо проявивший себя режим полива посевов гуара на Астраханской опытной станции ВИР – 5 л/растение в неделю. Уборку проводили 25–27 сентября. Сумма активных температур выше 10°C за время вегетации гуара составила 3286°C. За это время выпало 106,4 мм осадков. По результатам анализа структуры семенной продуктивности выборку разбили на 3 класса контрастных и нейтральных по отношению к засухе образцов и отобрали 30 наиболее продуктивных, по 10 из каждой группы, для изучения в 2024 г. В 2024 г. посев был проведен 18 апреля, уборка – 29–30 августа при созревании более 50% бобов у большинства растений. Во избежание их растрескивания уборку начали значительно раньше, чем в 2023 г. Полив по сравнению с 2023 г. уменьшили вдвое – до 2,5 л/растение в неделю.

Сумма активных температур выше 10°C за время вегетации гуара в 2024 г. составила 3348°C – выше, чем в 2023 г., сумма осадков – 119 мм. Среднемесячные температуры июня и июля, когда у гуара происходит формирование бобов, в 2024 г. были на 2,5 и 1,9°C выше, чем в 2023 г. (рис. 1).

Полив всего массива продолжали до полного образования последнего боба в нижней кисти. После этого полив на опытной половине поля (З) прекращали с целью создания искусственной засухи: в 2023 г. – 27 июня, в 2024 г. – 13 июня и до уборки. На контрольной половине поля (П) полив проводили в установленном режиме до уборки.

Во время уборки анализировали структуру семенной продуктивности. Проводили измерения 6–7 растений каждого образца по 10 хозяйственно ценным признакам: высота растения (длина стебля), число ветвей, число узлов со зрелыми бобами, число узлов с невызревшими бобами; число бобов в узле; масса зрелых бобов с растением; длина боба; число семян в бобе; масса семян с расте-

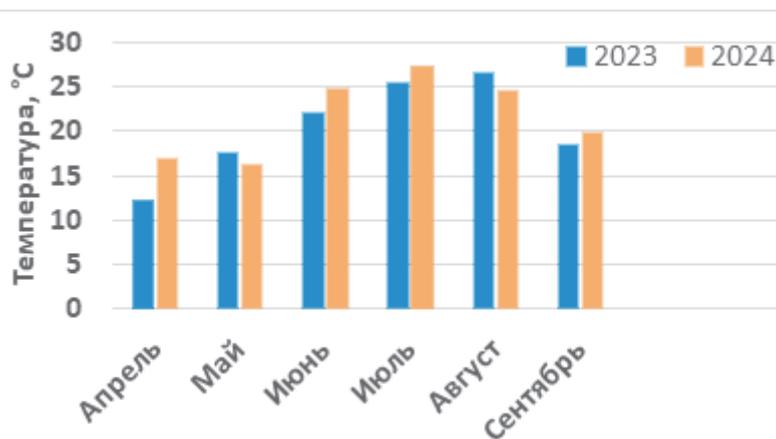


Рис. 1. Среднемесячные температуры воздуха в г. Волгограде в период вегетации гуара в 2023–2024 гг.

Fig. 1. Mean air temperatures in Volgograd during the growing season of guar in 2023–2024

ния; масса 1000 семян. Анализ проводили одновременно с контрольного (П) и опытного (З) полей.

По всем оцененным признакам вычисляли описательные статистики, а именно средние значения со стандартной ошибкой среднего $\bar{x} \pm SE$ и оценки вариабельности выборок – коэффициенты вариации. Рассчитаны наименьшие существенные различия $HSP_{0,05}$ с использованием дисперсионного анализа, которые показывают то минимальное различие между средними, начиная с которого при выбранном уровне вероятности средние сравниваемые показатели существенно отличаются друг от друга. Для нахождения степени влияния режима выращивания, года эксперимента и генотипических свойств образцов на изучаемые признаки провели многофакторный дисперсионный анализ по всем получившимся фенотипическим данным. Уровень вероятности $p < 0,05$ считается допустимой границей статистической значимости, так как этот уровень включает в себя вероятность ошибки 5%. Статистические расчеты проводили с применением программы Statistica 13.3.

Результаты

Анализ структуры семенной продуктивности проводили на сноповом материале в процессе уборки. Результаты 2023 г. свидетельствовали, что в целом средние значения основных признаков семенной продуктивности и ее структурных элементов у изученных 50 образцов гуара оказались выше на засухе, чем на поливе. Это выражалось в большем числе узлов на растении, в том числе с созревшими бобами, массе зрелых бобов и созревших семян с растения и массе 1000 семян (табл. 1). Очевидно, к такому результату привела пролонгированная вегетация при избыточном поливе.

Показатель семенной продуктивности растения (г/раст.) был принят в качестве главного критерия адаптивности гуара к режиму водоснабжения. Среднее значение этого признака в режиме П у 50 изученных образцов составило $10,20 \pm 1,00$; в режиме З – $11,62 \pm 0,78$ г/раст.

Выявлены признаки с разной степенью изменчивости в режимах П и З. Таблица 1 суммирует средние значения признаков каждого образца в контрольном (П) и опытном (З) вариантах. Из нее видно, что рассчитанный коэффициент вариации по каждому режиму выращивания, позволяющий дать объективную оценку степени варьирования при сравнении любых совокупностей,

указывает на значительную изменчивость признаков у большей части образцов. При поливе среднюю изменчивость демонстрируют длина боба (11,85%) и масса 1000 семян (14,10%), незначительную вариабельность – число семян в бобе (9,24%). В режиме засухи только признаки «высота растения» (19,87%), «длина боба» (12,81%), «число семян в бобе» (11,38%) и «масса 1000 семян» (14,98%) проявляют вариабельность средней степени, в отличие от остальных признаков, значения которых достаточно высоко варьируют как между образцами, так и в пределах образцов. Признаки, показывающие в обоих режимах вариабельность средней степени – высота растения, длина боба, число семян в бобе и масса 1000 семян – детерминируются в основном генотипом образца, условия среды на них влияют слабо.

В результате многомерного дисперсионного анализа практически везде установлено достоверное влияние факторов и их взаимодействий между собой на фенотипические признаки ($p < 0,05$), однако фактор «условия выращивания» (полив или засуха) не оказывает существенного влияния на число ветвей и число зрелых узлов на растении, другой фактор – «год эксперимента» – не показывает достоверное варьирование массы зрелых бобов с растения и длины боба (везде $p < 0,05$).

По массе зрелых семян с растения образцы гуара в режимах П и З в 2023 г. разделились на три группы, которые мы обозначили как толерантные к засухе, чувствительные к засухе и нейтральные по отношению к режиму водоснабжения. Первая группа имела сравнительно высокую семенную продуктивность в варианте З по отношению к режиму П (в среднем 15,9 и 6,4 г/раст. соответственно). Вторая группа образцов имела сравнительно высокую продуктивность в режиме П (в среднем 20,3 г/раст.) и низкую на опытном поле З (в среднем 10,20 г/раст.); близкие средние значения признака в обоих режимах наблюдали у третьей группы (11,4 г/раст. на поливе и 11,9 г/раст. на засухе). Из каждой группы отобрали по 10 образцов с максимальной семенной продуктивностью: в режиме П – 13,9–27,8 г/раст., в режиме З – 17,1–35,1 г/раст., образцы из третьей группы показывали максимальные значения семенной продуктивности в режиме П – 18,6 г/раст. и 19,0 г/раст. в режиме З.

Отрицательное влияние излишнего, по нашим наблюдениям, полива в 2023 г. выражалось в практическом отсутствии зрелых семян на растениях некоторых образцов в режиме П (пять образцов имели продуктивность

Таблица 1. Средние значения признаков семенной продуктивности всех образцов гуара, выращенных на поливе и в условиях прекращения полива (засухи)
(Волгоградская опытная станция ВИР, 2023–2024 гг.)

Table 1. Mean values of seed productivity indicators for all guar accessions grown under irrigation and artificial drought (Volgograd Experiment Station of VIR, 2023–2024)

Статистические параметры / Statistical parameters	Высота растения / Plant height	Число ветвей / Number of branches	Число узлов / Number of clusters	Число бобов в узле / Number of pods per cluster	Число узлов на растении / Number of clusters per plant		Масса зрелых бобов с растения / Mature pod weight per plant	Длина боба / Pod length	Число семян в бобе / Number of seeds per pod	Масса созревших семян с растения / Mature seed weight per plant	Масса 1000 семян / Mass 1000 seeds weight
					с созревшими бобами / with mature pods	с незрелыми бобами / with unripe pods					
Среднее	94,05* ± 3,46	5,52 ± 0,43	21,04 ± 1,41	4,32 ± 0,17	11,80 ± 1,06	9,40 ± 0,66	27,80 ± 2,65	5,44 ± 0,09	6,69 ± 0,09	10,20 ± 1,00	38,85 ± 0,79
Коэффициент вариации	26,02	55,50	47,25	28,00	63,59	49,73	66,66	11,85	9,24	69,03	14,10
НСР _{0,05}	6,71	3,61	15,84	1,59	10,74	9,68	28,24	0,73	1,16	10,7	
ПОЛИВ 2023 / IRRIGATION 2023											
Среднее	112,55 ± 3,16	6,02 ± 0,57	25,67 ± 1,76	4,17 ± 0,22	16,31 ± 1,18	9,28 ± 0,74	31,96 ± 2,19	5,30 ± 0,10	6,12 ± 0,10	11,62 ± 0,78	40,75 ± 0,86
Коэффициент вариации	19,87	67,13	48,57	37,32	51,05	56,20	48,53	12,81	11,38	47,62	14,98
НСР _{0,05}	9,69	6,09	18,77	1,60	12,38	8,58	22,29	0,73	1,06	9,1	
ЗАСУХА 2023 / DROUGHT 2023											

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

Статистические параметры / Statistical parameters	Высота растения / Plant height	Число ветвей / Number of branches	Число узлов / Number of clusters	Число бобов в узле / Number of pods per cluster	Число узлов на растении / Number of clusters per plant		Масса зрелых бобов с растения / Mature pod weight per plant	Длина боба / Pod length	Число семян в бобе / Number of seeds per pod	Масса созревших семян с растения / Mature seed weight per plant	Масса 1000 семян / 1000 seed weight
					с созревшими бобами / with mature pods	с невызревшими бобами / with unripe pods					
ПОЛИВ 2024 / IRRIGATION 2024											
Среднее	92.95 ± 2.26	7.0 ± 0.66	32.88 ± 2.83	4.24 ± 0.20	19.9 ± 2.12	12.97 ± 1.29	37.46 ± 3.07	5.52 ± 0.11	6.77 ± 0.15	16.14 ± 1.41	42.04 ± 0.68
Коэффициент вариации	13.34	51.72	47.12	25.48	58.43	54.45	44.91	10.89	12.24	47.79	8.81
НСР _{0,05}	4.34	2.69	25.16	0.00	17.23	12.17	29.94	0.53	1.01	13.28	
ЗАСУХА 2024 / DROUGHT 2024											
Среднее	90.98 ± 2.65	6.24 ± 0.54	24.74 ± 1.73	5.86 ± 0.16	15.71 ± 1.24	9.41 ± 1.23	29.02 ± 2.53	5.02 ± 0.07	5.75 ± 0.1	13.24 ± 1.24	42.16 ± 0.56
Коэффициент вариации	15.96	47.16	38.23	15.23	49.39	71.49	47.75	8.13	9.45	7.32	51.26
НСР _{0,05}	3.96	2.34	13.37	0.079	9.03	8.96	12.76	0.46	0.72	5.56	

Примечание: * – средние значения указаны со своей стандартной ошибкой средней $\bar{x} \pm SE$, кроме признака «масса 1000 семян», так как он исходно рассчитан по всем растениям каждого образца
Note: * – mean values are given with their standard error of the mean $\bar{x} \pm SE$, with the exception of 1000 seed weight, because it was initially calculated for all plants of each accession

менее 1 г), чего не наблюдали в режиме З, где минимальная семенная продуктивность равнялась 4,3 г/раст.

У высеванных для изучения в 2024 г. 30 образцов – по 10 наиболее продуктивных из каждой группы – в условиях уменьшенного вдвое полива, по сравнению с 2023 г., средние значения большинства анализируемых признаков оказались выше при поливе, чем при засухе. Это проявилось у основных показателей продуктивности: общее число узлов и число узлов со зрелыми бобами на растении, масса зрелых бобов и созревших семян с растения (см. табл. 1).

Так же как и в 2023 г., по получившимся коэффициентам вариации у большинства образцов наблюдалась значительная изменчивость признаков. К примеру, при поливе среднюю изменчивость демонстрируют высота растения (13,34%), длина боба (10,89%) и число семян в бобе (12,24%), масса 1000 семян показывает незначительную вариабельность (8,81%). В режиме засухи только признаки «высота растения» (15,96%) и «число бобов в узле» (15,23%) показывают вариабельность средней степени, низкую степень вариабельности демонстрируют длина боба (8,13%), число семян в бобе (9,45%) и масса созревших семян с растения (7,32%), в отличие от остальных признаков, значения которых достаточно высоко варьируют между образцами. Следует заметить, что наиболее сильное варьирование признаков в оба года отмечалось в режиме З. Также в течение всей продолжительности эксперимента (2023/2024) наиболее стабильной значимой корреляцией была связь между массой бобов с растения и семенной продуктивностью: $r = 0,87-0,94$ на поливе и $r = 0,84-0,99$ на засухе.

В 2024 г. анализ семенной продуктивности проводили по трем выявленным нами группам образцов. Толерантные к засухе образцы на поливе показали максимальные значения практически всех признаков продуктивности по сравнению с двумя другими группами (табл. 2). Средняя семенная продуктивность у этой группы на поливе равнялась 17,91 г/раст., у чувствительных к засухе – 15,44 г/раст. и у нейтральных – 15,11 г/раст. Однако образцы, отнесенные нами к первой группе, проявили максимальную среднюю продуктивность и в режиме З – 16,88 г/раст., сравнимую с той, что на поливе (меньше на 6%), тем самым подтвердив свой статус устойчивых к засухе образцов. Группа образцов, отнесенных нами в 2023 г. к засухоустойчивым, в режиме З имела среднюю семенную продуктивность 10,63 г/раст. – в полтора раза меньше, чем на П, то есть также подтвердила в целом свой статус. Группа нейтральных по отношению к влагообеспеченности образцов снизила свою продуктивность на З по сравнению с П с 15,11 до 12,20 г/раст. (на 19,3%) (см. табл. 2). Эта группа образцов оказалась в 2024 г. не так стабильна на обоих режимах, как в 2023 г., обнаружив отклонения значения признака «г/раст.» в обе стороны (больше или меньше). Сравнительно близкие результаты в обоих режимах показали только три образца из десяти: к-52891, к-52931 и к-52932.

Таким образом, выявленная нами в 2023 г. дифференциация образцов по отношению к засухе в целом подтвердилась в 2024 г., при этом для образцов всех групп наиболее предпочтительным оказался режим П. Средняя продуктивность всего массива на поливе в 2023 г. была 10,2 г/раст., а в 2024 г. – 16,14 г/раст., что на 60,8% больше. Между тем отдельные образцы, оставаясь в той же группе, что и в 2023 г., в 2024 г. показали разительно отличные результаты. Так, американский сорт 'Santa Cruz' (к-52584), отнесенный к засухоустойчивым, поскольку

в 2023 г. практически не дал семян на поливе, но на засухе сформировал в среднем по 5,2 г/раст., в 2024 г. на засухе дал сопоставимый результат – 8,02 г/раст., а на поливе сформировал по 25,1 г/раст. Это свидетельство того, что даже засухоустойчивые генотипы предпочитают условия оптимального полива.

Аналогичное заключение можно отнести практически ко всем образцам всех трех определенных нами групп. Ряд из них показал в оба года близкие результаты, но большинство образцов сформировали максимальную семенную продуктивность в режиме П (рис. 2).

Выявлены наиболее продуктивные образцы, способные сформировать более 20 г семян на растении:

– из группы толерантных к засухе при ограниченном водоснабжении (З): к-52857, к-52910, к-52938, к-52945; на поливе (П): к-52584, 52937;

– из группы чувствительных к засухе на поливе (П): к-52860, к-52904, к-52918, к-52924;

– из группы нейтральных к режиму водоснабжения на засухе (З): к-52742; на поливе (П): к-52854, к-52932.

В этом списке преимущественно индийские и пакистанские образцы. Единственный сорт российской селекции, вошедший в третью группу и способный давать сравнительно высокую семенную продуктивность на засухе, – 'Кубанский Юбилейный' (к-52742), который при этом снижает продуктивность на поливе. В 2024 г. в режиме З его продуктивность была вдвое выше, чем в режиме П.

Обсуждение

Несмотря на устойчивую репутацию гуара как засухоустойчивого растения, исследования по влиянию воздействия засухи на его урожайность ограничены. Ранее в РФ предпринимали эколого-географическое изучение образцов гуара из коллекции ВИР на южных опытных станциях института, климатические условия которых отвечают критериям теплообеспеченности этой культуры (Волгоградской, Астраханской, Дагестанской и Кубанской), на богаре и при орошении. Основное внимание в этом исследовании уделяли свойствам камеди (Kruchina-Bogdanov et al., 2019). Убедительно показано, что при выращивании одного и того же набора из 13 образцов в режиме оптимального водоснабжения, которое было обеспечено только на двух станциях, многократно возрастала семенная продуктивность и формировались максимальные показатели удельной вязкости камеди (на поливе на Астраханской опытной станции ВИР), а максимальное процентное содержание камеди в семенах у всех образцов гуара фиксировали при их выращивании в условиях Волгоградской станции на капельном орошении (Kruchina-Bogdanov et al., 2019). Однако специальных экспериментов по выявлению засухоустойчивых образцов в коллекции ВИР не проводилось.

Основным методическим приемом исследований засухоустойчивости служит ограничение водопотребления культуры на разных стадиях развития растений. Мы прекращали полив в начале массового плодообразования и не возобновляли до уборки.

Работы по изучению толерантности гуара к засухе, проводившиеся в США (Stafford, McMichael, 1991), показали, что на уровне фенотипа водному стрессу подвержены семенная продуктивность, число бобов на растении и высота растения. В работе итальянских ученых показано, что признак, на который засуха воздействует менее всего, – число семян в бобе (Gresta et al., 2016; Avola et al.,

Таблица 2. Средние значения фенотипических признаков 30 образцов гуара в условиях полива и искусственной засухи в 2024 г. (Волгоградская опытная станция ВИР)
 Table 2. Mean values of phenotypic characters in 30 guar accessions under irrigation and artificial drought in 2024 (Volgograd Experiment Station of VIR)

Статистические параметры / Statistical parameters	Высота растения Plant height	Число ветвей / Number of branches	Число узлов / Number of clusters	Число бобов в узле / Number of pods per cluster	Число узлов на растении / Number of clusters per plant		Масса зрелых бобов с растением / Mature pod weight per plant	Длина боба / Pod length	Число семян в бобе / Number of seeds per pod	Масса созревших семян с растением / Mature seed weight per plant	1000 семян / 1000 seed weight
					с созревшими бобами / with mature pods	с незрелыми бобами / with unripe pods					
ПОЛИВ / IRRIGATION											
Толерантные к засухе / Tolerant to drought											
Среднее	97,64 ± 1,62	5,38 ± 0,55	26,86 ± 3,05	3,82 ± 0,14	18,04 ± 2,43	8,78 ± 0,89	39,56 ± 4,25	5,81 ± 0,09	7,16 ± 0,15	17,91 ± 1,94	42,31 ± 1,18
Коэффициент вариации	11,73	71,63	80,25	26,07	95,05	71,42	75,98	10,88	15,11	76,41	8,83
НСР _{0,05}	4,58	2,58	23,27	0,00	17,50	7,95	34,60	0,55	0,96	15,59	
Чувствительные к засухе / Sensitive to drought											
Среднее	94,7 ± 0,77	8,18 ± 0,63	35,38 ± 2,98	4,05 ± 0,13	20,0 ± 1,96	15,34 ± 1,41	35,42 ± 3,32	5,31 ± 0,07	6,66 ± 0,14	15,44 ± 1,57	42,18 ± 0,99
Коэффициент вариации	5,72	54,15	59,46	22,62	69,21	65,04	66,25	9,59	14,58	71,85	7,39
НСР _{0,05}	3,92	3,17	20,97	0,00	11,66	11,28	23,40	0,41	0,97	10,78	
Нейтральные по отношению к режиму водоснабжения / Neutral to water supply											
Среднее	85,44 ± 2,22	7,33 ± 0,49	34,98 ± 3,82	4,91 ± 0,14	21,27 ± 2,80	13,79 ± 2,00	37,33 ± 4,04	5,46 ± 0,12	6,48 ± 0,16	15,14 ± 1,69	41,64 ± 1,42
Коэффициент вариации	18,04	45,82	75,56	19,94	91,06	100,53	74,97	15,52	17,55	77,47	10,81
НСР _{0,05}	4,57	2,20	30,54	0,00	21,36	16,12	30,79	0,61	1,11	13,02	

Таблица 2. Окончание
Table 2. The end

Статистические параметры / Statistical parameters	Высота растения Plant height	Число ветвей / Number of branches	Число узлов / Number of clusters	Число бобов в узле / Number of pods per cluster	Число узлов на растении / Number of clusters per plant		Масса зрелых бобов с растения / Mature pod weight per plant	Длина боба / Pod length	Число семян в бобе / Number of seeds per pod	Масса созревших семян с растения / Mature seed weight per plant	Масса 1000 семян / 1000 seed weight
					с созревшими бобами / with mature pods	с невызревшими бобами / with unripe pods					
ИСКУССТВЕННАЯ ЗАСУХА / ARTIFICIAL DROUGHT											
<i>Толерантные к засухе / Tolerant to drought</i>											
Среднее	96,28 ± 2,09	4,98 ± 0,39	19,26 ± 1,21	5,88 ± 0,05	15,14 ± 0,98	4,22 ± 0,37	35,72 ± 2,07	5,03 ± 0,07	5,9 ± 0,08	16,88 ± 1,06	42,89 ± 0,79
Коэффициент вариации	15,38	55,25	44,38	5,84	45,86	61,92	41,05	9,83	9,67	44,51	5,84
НСР _{0,05}	3,34	1,01	3,06	0,14	2,45	2,03	6,14	0,48	0,59	3,05	
<i>Чувствительные к засухе / Sensitive to drought e</i>											
Среднее	87,58 ± 1,46	6,72 ± 0,58	27,52 ± 2,34	5,95 ± 0,15	14,98 ± 1,47	13,70 ± 1,72	24,41 ± 2,01	5,05 ± 0,05	5,42 ± 0,07	10,63 ± 0,93	41,74 ± 1,08
Коэффициент вариации	11,75	61,10	60,15	17,58	69,26	88,56	58,17	6,64	9,29	62,04	8,16
НСР _{0,05}	3,96	3,51	20,01	0,00	13,21	14,05	16,48	0,39	0,49	6,84	
<i>Нейтральные по отношению к режиму водоснабжения / Neutral to water supply</i>											
Среднее	89,08 ± 2,36	7,02 ± 0,38	27,44 ± 1,74	5,75 ± 0,15	17,02 ± 1,46	10,32 ± 1,08	26,94 ± 2,59	5,0 ± 0,10	5,91 ± 0,14	12,20 ± 1,12	41,84 ± 1,09
Коэффициент вариации	18,72	38,45	44,77	18,53	60,59	73,89	67,88	13,60	16,45	65,06	8,25
НСР _{0,05}	4,28	1,76	11,25	0,00	7,99	6,24	13,40	0,47	0,98	6,06	

Примечание: * – средние значения указаны со своей стандартной ошибкой средней ($\bar{x} \pm SE$), кроме признака «масса 1000 семян», так как он изначально рассчитан по всем растениям каждого образца
 Note: * – mean values are given with their standard error of the mean ($\bar{x} \pm SE$), with the exception of 1000 seed weight, because it was initially calculated for all plants of each accession

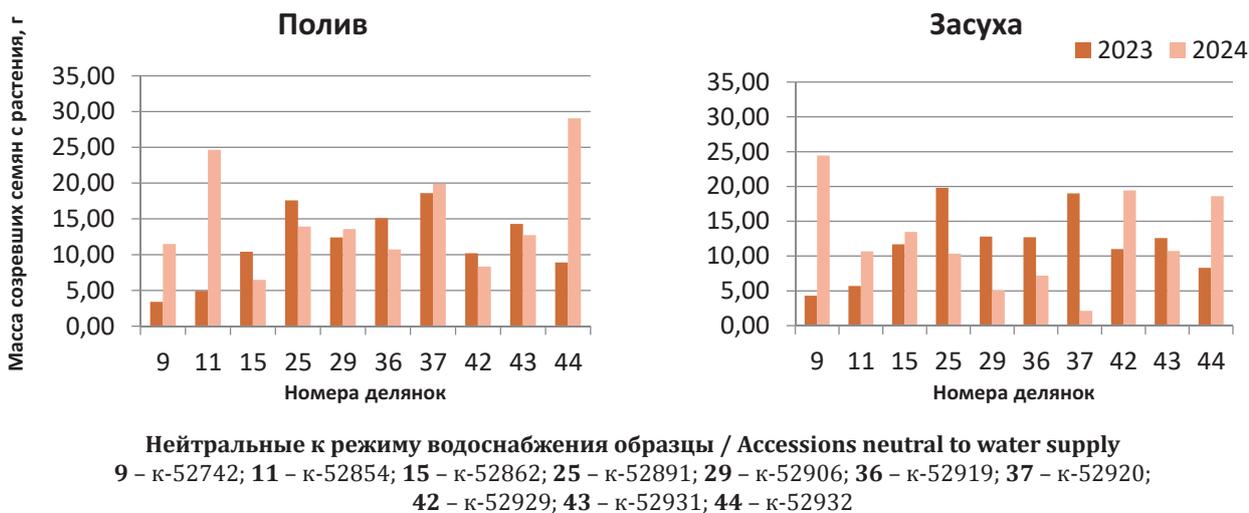
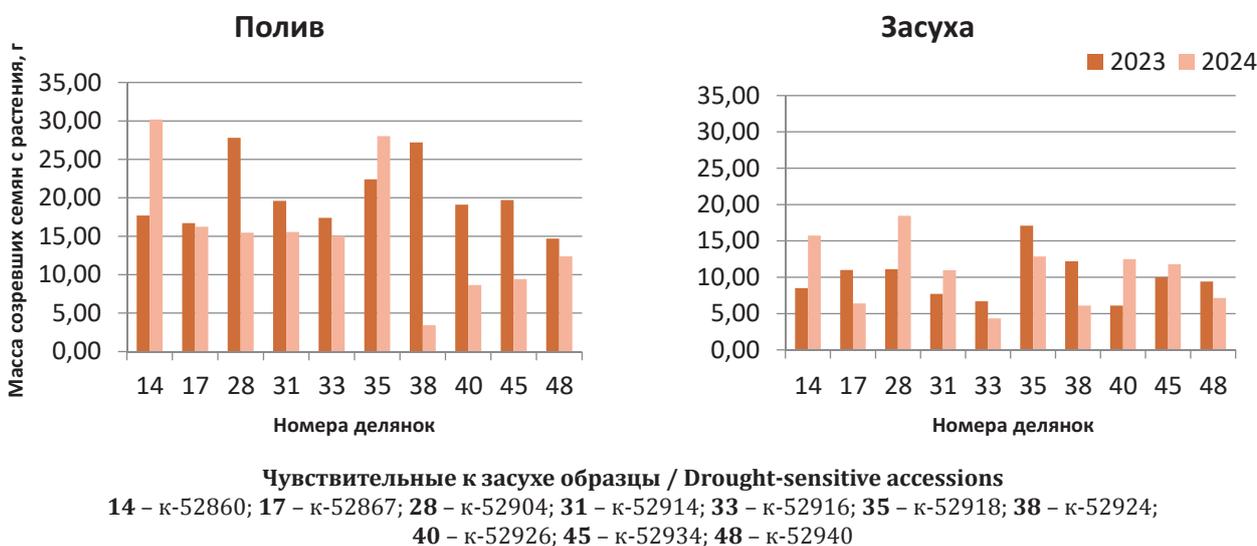
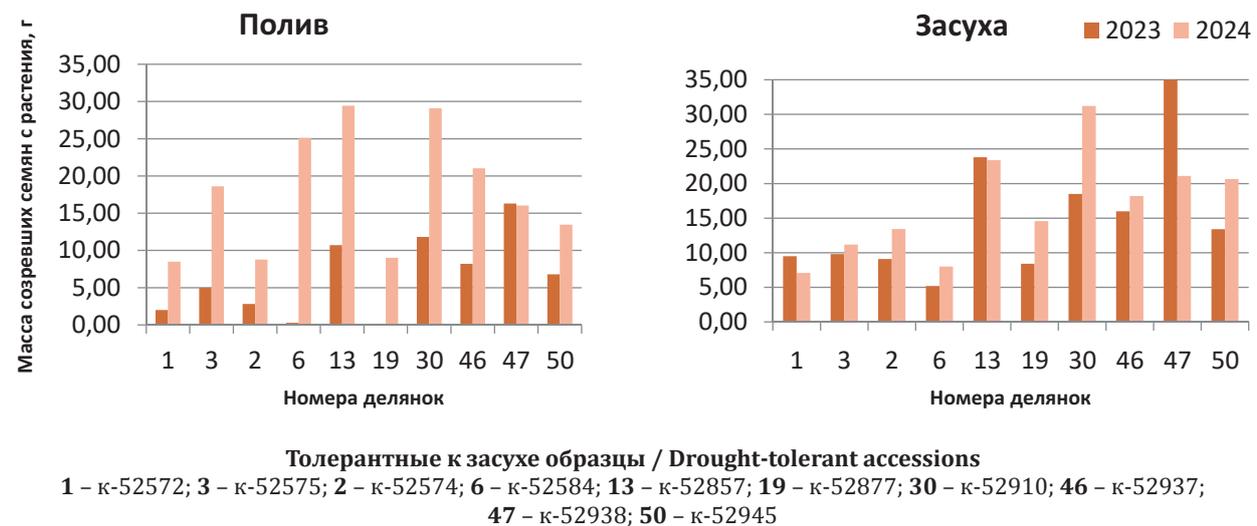


Рис. 2. Сравнение семенной продуктивности образцов, классифицированных по отношению к засухе за два года исследования, при разных режимах водоснабжения: 2023 г. – 5 л/растение в неделю; 2024 г. – 2,5 л/растение в неделю

Fig. 2. Comparison of seed productivity among accessions ranged according to their drought resistance over the two years of studying under different water supply regimes: 2023 – 5 L per plant per week; 2024 – 2.5 L per plant per week

2020). В нашем исследовании получены аналогичные результаты. Более того, показана высокая положительная связь признаков «масса семян с растением» и «масса бобов с растением» в оба года (2023 и 2024) в обоих режимах П и З ($r = 0,94-0,99$ и $r = 0,84-0,87$), а значимая положительная корреляция между семенной продуктивностью и высотой растений на засухе ($r = 0,41$) зафиксирована только в 2024 г.

Известны работы по поиску оптимального режима орошения гуара. В частности, в условиях Сицилии использовали режимы: полного орошения (ПО, 100% почвенной влагоемкости), среднего (СО, 50%) и низкого (НО, 25%). Результатом ограниченного водоснабжения стало уменьшение числа бобов и массы семян на растении, высоты растения, индекса площади листа, эффективности водопользования. По сравнению с ПО двухлетнее среднее снижение урожайности семян для вариантов НО и СО – 49% и 26% соответственно. Общий вывод исследования: гуар обладает высоким потенциалом урожайности при 100-процентном восполнении дефицита воды в почве, но способен сохранять урожайность в условиях ограничения воды. Пятидесятипроцентный водный дефицит снижал урожайность культуры не более чем на 26%, что говорит об эффективности использования воды гуаром в условиях ее низкой доступности (Avola et al., 2020).

Как сказано выше, использованный нами в первый год исследования режим орошения 5 л/раст. в неделю заимствован из практики выращивания гуара в Астрахани. В условиях Волгограда он оказался излишним. Следует учитывать, что Волгоградская ОС ВИР расположена в зоне степей в умеренно континентальном климате, в то время как Астрахань – в зоне полупустынь с резко континентальным климатом. Сумма среднемесячных температур трех летних месяцев в Астрахани в 2023 г. была на 3,7°C, а в 2024 г. на 3,6°C выше, чем в Волгограде. Кроме того, восточные ветры в Астрахани обуславливают высокую сухость воздуха (<https://ru.weatherspark.com>), в то время как полиэтиленовый навес над нашим посевом в Волгограде создает несколько повышенную влажность воздуха в агроценозе по сравнению с тем, как если бы посев находился под открытым небом.

Режим полива 2,5 л/растение, использованный нами в 2024 г., мы называем оптимальным с определенной степенью условности. Поиск оптимальных доз орошения требует специального агротехнического анализа. Поэтому вывод, сделанный в процитированной выше работе G. Avola et al. (2020), мы принимаем как определенное руководство для использования данного режима орошения, поскольку при нем растения формируют сравнительно высокую для РФ семенную продуктивность, достигающую 25 и более г/раст.

В исследовании A. Alshameri с соавторами (Alshameri et al., 2017), наряду с уменьшением числа бобов при стрессе засухи в условиях Пакистана, отмечены уменьшение числа листьев, их площади, биомассы и высоты растений и увеличение периода от всходов до цветения. Имеется несколько свидетельств того, что при водном дефиците на разных фазах онтогенеза растений гуара они наиболее чувствительны к стрессу во время репродуктивной стадии, а именно при закладке цветков и цветении (Ahmed et al., 2011; Meftahizadeh et al., 2019; Avola et al., 2020; Baath et al., 2020).

Генотипическая изменчивость реакции растений гуара на стресс засухи, отмеченная в работе G. Avola et al. (2020), многократно отмечалась и другими исследовате-

лями. В генофонде культуры, как у большинства сельскохозяйственных растений, встречаются образцы, в разной степени толерантные к засухе (Ashraf et al., 2002; Ali et al., 2015; Zubair et al., 2017; Meftahizadeh et al., 2019; Pandey et al., 2022). Мы в нашем исследовании также выявили образцы, толерантные к засухе, чувствительные к ограниченному водоснабжению и нейтральные по отношению к нему. Последние можно было бы считать образцами с широкой адаптацией к режиму водоснабжения, однако семенная продуктивность большинства из них оказалась нестабильной по годам исследования в обоих режимах – П и З. Считаем, что исследование этой группы образцов нужно продолжить. Полученные результаты позволяют формировать пул генетических ресурсов для адресной интродукции, а также селекции сортов гуара, адаптированных к разным режимам водоснабжения.

Заключение

Впервые в РФ проведено полевое фенотипирование 50 образцов гуара из коллекции ВИР с целью определения отношения культуры к засухе. Изучение проводили на Волгоградской опытной станции ВИР в 2023–2024 гг. на поливе разной степени интенсивности и в режиме искусственной засухи, создаваемой в течение двух и более месяцев в период образования бобов. Выявлена дифференциация изучаемой выборки по отношению к водообеспечению на три группы: толерантные к засухе, чувствительные к засухе и нейтральные по отношению к водоснабжению. Режим точечного полива 5 л/растение в неделю оказался излишним для большинства изученных образцов. Оптимальным признан полив вдвое меньше – 2,5 л/растение в неделю. Большинство образцов сохранило выявленный статус по отношению к засухе в оба года изучения, несмотря на разное водоснабжение. При этом, независимо от группы образцов, обнаружилась тенденция увеличения семенной продуктивности на оптимальном поливе. Определены наиболее продуктивные образцы во всех трех группах.

References / Литература

- Ahmed M.F.M., Mac D.M., Bashir A.A.G. Effect of water stress at different periods on seed yield and water use efficiency of guar under Shambat conditions. *Agricultural Sciences*. 2011;2(3):262-266. DOI: 10.4236/as.2011.23034
- Ali Z., Ashraf M., Al-Qurainy F., Khan S., Akram N.A. Field screening of guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] accessions for enhanced forage production on hot drylands. *Pakistan Journal of Botany*. 2015;47(4): 1429-1437.
- Alshameri A., Al-Qurainy F., Khan S., Nadeem M., Gaafer A.R., Tarroum M. et al. Appraisal of guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] accessions for forage purpose under the typical Saudi Arabian environmental conditions encompassing high temperature, salinity and drought. *Pakistan Journal of Botany*. 2017;49(4):1405-1413.
- Ashraf M.Y., Akhtar K., Sarwar G., Ashraf M. Evaluation of arid and semi-arid ecotypes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) for salinity (NaCl) tolerance. *Journal of Arid Environments*. 2002;52(4):473-482. DOI: 10.1006/jare.2002.1017
- Avola G., Riggi E., Trostle C., Sortino O., Gresta F. Deficit irrigation on guar genotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.): effects on seed yield and water use efficiency. *Agronomy*. 2020;10(6):789 DOI: 10.3390/agronomy10060789

- Baath G.S., Kakani V.G., Gowda P.H., Rocateli A.C., Northup B.K., Singh H. et al. Guar responses to temperature: Estimation of cardinal temperatures and photosynthetic parameters. *Industrial Crops and Products*. 2020;145:111940. DOI: 10.1016/j.indcrop.2019.111940
- Dzyubenko E.A., Safronova V.I., Vishnyakova M.A. Objectives of guar breeding in the Russian Federation in connection with the prospects of domestic guar gum production (review). *Agricultural Biology*. 2023;58(1):43-59. DOI: 10.15389/agrobiol.2023.1.43eng
- Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A., Potokina E.K., Bulyntsev S.V. Clusterbeans *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. – properties, use, plant genetic resources and expected introduction in Russia (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(6):1116-1128. [in Russian] [Дзюбенко Н.И. Дзюбенко Е.А., Потокина Е.К., Булынец С.В. Гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.): характеристика, применение, генетические ресурсы и возможность интродукции в России (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(6):1116-1128). DOI: 10.15389/agrobiol.2017.6.1116rus
- Gresta F., Mercati F., Santonoceto C., Abenavoli M.R., Cerauolo G., Araniti F. et al. Morpho-agronomic and AFLP characterization to explore guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes for the Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*. 2016;86:23-30. DOI: 10.1016/j.indcrop.2016.03.038
- Gudko V., Usatov A., Minkina T., Duplii N., Azarin K., Tatari-nova T.V. et al. Dependence of the pea grain yield on climatic factors under semi-arid conditions. *Agronomy*. 2024;14(1):133. DOI: 10.3390/agronomy14010133
- Kruchina-Bogdanov I.V., Miroshnichenko E.V., Shaukharov R.A., Kantemirova E.N., Golovina M.A., Abdullaev K.M. et al. Impact of growing conditions on the gum properties of different genotypes of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2019;23(7):941-948. DOI: 10.18699/VJ19.570
- Meftahizadeh H., Ghorbanpour M., Asareh M.H. Changes in phenological attributes; yield and phytochemical compositions of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) landraces under various irrigation regimes and planting dates. *Scientia Horticulturae*. 2019;256:108577. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.108577
- Pandey K., Kumar R.S., Prasad P., Pande V., Trivedi P.K., Shirke P.A. Coordinated regulation of photosynthesis and sugar metabolism in guar increases tolerance to drought. *Environmental and Experimental Botany*. 2022;194:104701. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2021.104701
- Rakovskaya N.V., Zabegaeva O.N., Dzyubenko E.A. Seed quality evaluation in the collection of *Cyamopsis tetragonoloba* after long-term storage under uncontrolled conditions. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2019;180(4):48-58. [in Russian] [Раковская Н.В., Забегеева О.Н., Дзюбенко Е.А. Оценка качества семян кол-лекции циамописа четырехкрыльничкового при длительном хранении в неконтролируемых условиях. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2019;180(4):48-58). DOI: 10.30901/2227-8834-2019-4-48-58
- Stafford R.E., McMichael B.L. Effect of water stress on yield components in guar. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 1991;166(1):63-68. DOI: 10.1111/j.1439-037X.1991.tb00884.x
- Startsev V.I., Livanskaya G.A., Kulikov M.A. Prospects of cultivating guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in Russia. *Bulletin of the Russian State Agrarian Correspondence University*. 2017;24(29):11-15. [in Russian] [Старцев В.И., Ливанская Г.А., Куликов М.А. Перспективы возделывания гуара (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) в России. *Вестник Российского государственного аграрного заочного университета*. 2017;24(29):11-15).
- State Register for Selection Achievements Admitted for Usage. Volume 1. Plant varieties: [website]. [in Russian] [Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорты растений: [сайт]]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/> [дата обращения: 14.05.2024].
- Vishnyakova M.A., Frolova N., Frolov A. Drought stress response in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub): physiological and molecular genetic aspects. *Plants*. 2023;12(23):3955. DOI: 10.3390/plants12233955
- Vishnyakova M.A., Shaukharov R.A., Gurina A.K., Kocherina N.V., Dzyubenko E.A., Cherevatskaya M.A. et al. Guar in the Russian Federation: an attempt to conceptualize the experience acquired. In: *Genepool and Plant Breeding (GPB 2024): Proceedings of the 7th International conference dedicated to the 95th anniversary of the birth of Academician of the Russian Academy of Sciences P.L. Goncharov (April 10–12, 2024, Novosibirsk, Russia)*. Novosibirsk: Institute of Cytology and Genetics, SB RAS; 2024. p.88-92. [in Russian] [Вишнякова М.А., Шаухаров Р.А., Гурина А.К., Кочерина Н.В., Дзюбенко Е.А., Череватская М.А. и др. Гуар в Российской Федерации: попытка осмысления полученного опыта. В кн.: *Генофонд и селекция растений: Материалы 7-й Международной конференции, посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова (Новосибирск, Россия, 10–12 апреля 2024 г.)*. Новосибирск: Институт цитологии и генетики СО РАН; 2024. С.88-92). URL: https://conf.icgbio.ru/gpb2024/wp-content/uploads/sites/122/2024/04/GPB2024_09-04-2024-k2-compress.pdf [дата обращения: 19.06.2024].
- Weather Spark. The Weather Year Round Anywhere on Earth: [website]. Available from: <https://weatherspark.com/> [accessed Aug. 07, 2024].
- Zubair M., Akhtar L.H., Minhas R., Qamar M.J., Bukhari S.J., Sadiq A. et al. Expediency of water and soil nutrients in irrigated and extreme drought conditions. *African Journal of Agricultural Research*. 2017;12(27):2310-2318. DOI: 10.5897/AJAR2017.12132

Информация об авторах

Маргарита Афанасьевна Вишнякова, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, m.vishnyakova.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

Елена Александровна Дзюбенко, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, elena.dzyubenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4576-1527>

Наталья Викторовна Кочерина, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Агрофизический научно-исследовательский институт, 195220 Россия, Санкт-Петербург, Гражданский пр., 14, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, alle007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8791-1899>

Магамедгусейн Магамедганифович Агаханов, кандидат биологических наук, директор филиала, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, 404160 Россия, Волгоградская область, Среднеахтубинский район, Краснослободск, квартал Опытная станция ВИР, 30, m.agahanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2438-9156>

Рамазан Абатович Шаухаров, специалист, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Волгоградская опытная станция – филиал ВИР, 404160 Россия, Волгоградская область, Среднеахтубинский район, Краснослободск, квартал Опытная станция ВИР, 30, romanshauharov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9794-104X>.

Information about the authors

Margarita A. Vishnyakova, Dr. Sci. (Biology), Chief Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, m.vishnyakova.vir@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2808-7745>

Elena A. Dzyubenko, Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, elena.dzyubenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4576-1527>

Natalia V. Kocherina, Dr. Sci. (Biology), Senior Researcher, Agrophysical Research Institute, 14 Grazhdanskiy Ave., St. Petersburg 195220, Russia, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alle007@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8791-1899>

Magamedgusein M. Agakhanov, Cand. Sci. (Biology), Branch Director, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station – branch of VIR, 30 VIR Exp. Station Block, Krasnoslobodsk 404160, Russia, m.agahanov@vir.nw.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2438-9156>

Ramazan A. Shaukharov, Specialist, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station – branch of VIR, 30 VIR Exp. Station Block, Krasnoslobodsk 404160, Russia, romanshauharov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9794-104X>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.10.2024; одобрена после рецензирования 28.11.2024; принята к публикации 03.12.2024. The article was submitted on 28.10.2024; approved after reviewing on 28.11.2024; accepted for publication on 03.12.2024.