

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОСЕВНЫХ КАЧЕСТВ СЕМЯН ГУАРА
Cyamopsis tetragonoloba (L.) Taub, ВЫРАЩЕННОГО НА ПОЛИВЕ
И В РЕЖИМЕ ИСКУССТВЕННОЙ ЗАСУХИ В НИЖНЕМ ПОВОЛЖЬЕ***

М.А. ВИШНЯКОВА¹ ✉, Т.А. ЯВОРСКАЯ¹, Р.А. ШАУХАРОВ^{1, 2},
Н.В. КОЧЕРИНА¹, Е.А. ДЗЮБЕНКО¹, Г.И. ФИЛИПЕНКО¹

Исследование различных аспектов биологии культурного бобового растения гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub) — нового интродукта в ряд южных регионов Российской Федерации связано с оптимизацией размещения культуры в соответствующих агроклиматических условиях. С начала 2010-х годов — времени появления гуара в РФ отечественные селекционеры создали более полтора десятка сортов. Необходимо организация семеноводства, ключевая задача которого — получение семян с высокими посевными качествами. Существенный практический интерес представляет изучение влияния на посевные качества семян стрессовых условий выращивания, в частности засухи. Водный дефицит считается важнейшей причиной снижения урожайности зернобобовых во всем мире. Негативное воздействие засухи выражается в снижении всхожести и энергии прорастания семян, а также в снижении их питательной ценности. В настоящей работе впервые проанализировано влияние засухи на посевные качества семян образцов гуара из коллекции ВИР, контрастных по отношению к засухе: толерантных и чувствительных к стрессору, а также нейтрально относящихся к режиму влагообеспечения. Цель работы — изучение влияния засухи на посевные качества семян гуара свежей репродукции и семян с имитацией длительного хранения (подвергнутых ускоренному старению), а также выявление возможного различия посевных качеств семян у образцов, по-разному реагирующих на водоснабжение культуры — толерантных, восприимчивых и нейтральных в своем отношении к засухе. Материалом служили 12 образцов гуара из коллекции ВИР, выращенных в 2023 году на Волгоградской ОС ВИР в условиях полива и искусственной засухи, создаваемой посредством прекращения полива на стадии формирования последнего боба в первой кисти (в конце июня) (параметр «режим выращивания»). В этом полевом эксперименте в изучаемой выборке выявили дифференциацию образцов на три группы по отношению к водоснабжению: толерантные, чувствительные к засухе и нейтральные по отношению к влагообеспечению (параметр «статус образца»). В настоящий лабораторный эксперимент 2024 года были включены по 4 образца из каждой группы. Ускоренное старение семян осуществляли посредством их размещения на сетке в эксикаторе над насыщенным раствором натрия хлористого (75 % относительная влажность воздуха) и инкубации в термостате при 40 °С. Было поставлено два опыта. В первом инкубацию в термостате проводили в течение 5 сут, во втором — в течение 10 сут (параметр «возраст семян»). Выравнивания семян по влагосодержанию достигали, размещая их в эксикаторе на сетке над насыщенным раствором кальция хлористого (35 % относительная влажность воздуха) в термостате при 20 °С в течение 5 сут. Всхожесть семян гуара анализировали до и после ускоренного старения посредством проращивания в рулонах фильтровальной бумаги в термостате в темноте при 30 °С днем и 20 °С ночью. Энергию прорастания подсчитывали на 3-и сут. На 7-е сут подсчитывали всхожесть — общее число нормально проросших семян. Сравнительный анализ посевных качеств семян, собранных с растений гуара, выращенных в условиях систематического полива и искусственной засухи в полевых условиях Волгоградской области, выявил гетерогенность образцов по анализируемым признакам и показал, что режим выращивания существенно влиял на лабораторную всхожесть семян. На изменчивость энергии прорастания и всхожести семян существенно влияет параметр, условно названный нами возрастом семян (соответственно $p = 0,000$ и $p = 0,020$), а на изменчивость показателей всхожести семян достоверное влияние имел статус отношения образцов к засухе ($p = 0,003$). Максимальную всхожесть показали семена толерантных к засухе образцов, выращенных как при поливе, так и на фоне засухи, подвергнутые и не подвергнутые ускоренному старению. То есть генетическая предрасположенность к адаптации к водному дефициту сыграла ключевую роль в сохранении посевных качеств семян растений, выращенных в условиях засухи. Это свидетельствует о способности толерантных генотипов адаптироваться к стрессовым условиям посредством мобилизации механизмов защиты от засухи, которые позволяют оптимизировать использование ресурсов и направлять их на формирование качественных семян.

Ключевые слова: гуар, семена, посевные качества, ускоренное старение, стрессор засухи.

Тенденция изменения климата в сторону увеличения частоты и

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках проекта № 23-16-00195 от 15 мая 2023 года.

интенсивности засух очевидна. Прогнозы и климатические модели указывают на то, что глобальное потепление способствует уменьшению количества осадков и аридизации климата, что влечет за собой длительные засухи во многих регионах мира (1-3). Это представляет серьезные риски для сельского хозяйства в ряде южных областей России, в частности в Южном федеральном округе и Нижнем Поволжье, где засухи случаются довольно часто, обычно раз в несколько лет, и прогнозы предполагают возможное увеличение их частоты и продолжительности. Так, в Волгоградской области засухи возникают в среднем каждые 2-3 года. Именно на эти территории в силу температурных потребностей интродуцирована стратегически важная для Российской Федерации зернобобовая культура гуар (4).

Гуар *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. (сем. *Fabaceae*) — ценное зернобобовое растение, в семенах которого содержится камедь (полисахарид галактоманнан), нашедшая применение во многих отраслях промышленности. Мировые лидеры по производству гуара — Индия и Пакистан. Россия — второй крупнейший импортер гуаровой камеди после США. Основные экспортеры гуаровой камеди для России — Индия и Китай (5).

Попытки наладить промышленное выращивание этой тропической культуры в нашей стране требуют досконального знания биологии растения, чтобы адресно интродуцировать определенные генотипы в соответствующие агроклиматические регионы. Особенно это касается отношения к засухе, поскольку однозначной оценки степени засухоустойчивости гуара нет.

В мировой литературе имеются сведения о наличии в генофонде гуара засухоустойчивых генотипов (6-10). Наши исследования выявили в коллекции ВИР контрастные по отношению к засухе образцы, а также промежуточные формы, нейтральные по отношению к водоснабжению (11, 12).

Водный дефицит считается важнейшей причиной снижения урожайности зернобобовых во всем мире. Это касается даже такой засухоустойчивой культуры, как нут, и сравнительно засухоустойчивой чечевицы (13, 14). Однако потеря урожая не единственное негативное последствие засухи. В зависимости от силы воздействия стрессора изменяется качество семян, в частности их питательная ценность (15). Страдают и посевные качества получаемых при засухе семян. За счет уменьшения размеров и массы снижаются их питательный резерв, всхожесть и энергия прорастания, наблюдается неравномерное прорастание и т.д. (16, 17).

В настоящей работе впервые проанализировано влияние засухи на посевные качества семян гуара.

Цель работы — изучение посевных качеств семян гуара свежей репродукции и семян с имитацией длительного хранения (подвергнутых ускоренному старению), при этом особое внимание уделялось влиянию засухи на посевные качества семян образцов, по-разному реагирующих на водоснабжение культуры (толерантных, восприимчивых и индифферентно относящихся к засухе).

Методика. Материалом служили 12 образцов гуара из коллекции ВИР, выращенные в 2023 году на Волгоградской ОС ВИР в условиях полива и искусственной засухи, создаваемой посредством прекращения полива на стадии формирования последнего боба в первой кисти (в конце июня). Подробно методика применения искусственной засухи в полевых условиях описана ранее (11, 12). В этом полевом эксперименте в изучаемой выборке выявили дифференциацию образцов на три группы по отношению к водоснабжению: толерантные и чувствительные к засухе и нейтральные по отношению к влагообеспечению. В настоящий лабораторный эксперимент

были включены по 4 образца из каждой группы нашей классификации. Анализировали по 200 семян каждого образца гуара.

Для ускоренного старения семян их размещали на сетке в эксикаторе над насыщенным раствором хлористого натрия (75 % относительная влажность воздуха) и инкубировали в термостате при температуре 40 °С (18). Провели два опыта: в первом инкубацию в термостате проводили в течение 5 сут, во втором — в течение 10 сут. Используемая методика ускоренного старения семян включала их выравнивание по влагосодержанию до и после состаривания, что позволяло получить более стабильные результаты. Выравнивания семян по влагосодержанию достигали, размещая их в эксикаторе на сетке над насыщенным раствором хлористого кальция (35 % относительная влажность воздуха) в термостате при 20 °С в течение 5 сут.

Параметры, по которым анализировали посевные качества семян у 12 образцов гуара из коллекции ВИР обозначили следующим образом: возраст семян (семена урожая 2023 года, полученные на Волгоградской ОС ВИР, хранившиеся при комнатной температуре в бумажном пакете в течение 1 года; семена с имитацией хранения — ускоренно состаренные в течение 5 сут; семена с имитацией более длительного хранения — ускоренно состаренные в течение 10 сут), режим выращивания (семена, выращенные на поливе и в режиме искусственной засухи на Волгоградской опытной станции ВИР в 2023 году), статус отношения к засухе (семена, полученные от растений трех групп, охарактеризованных в условиях г. Волгограда как толерантные, чувствительные к засухе и нейтральные по отношению к влагообеспечению).

Всхожесть семян гуара до и после ускоренного старения анализировали при проращивании в рулонах фильтровальной бумаги в термостате в темноте при 30 °С днем и 20 °С ночью (19). Срок для определения энергии прорастания и всхожести семян гуара устанавливали по ГОСТ 12038-84 (20). Энергию прорастания подсчитывали на 3-и сут. Проросшими считали семена, давшие нормальные проростки с развитым зародышевым корешком размером более длины семени и сформировавшимся ростком. Для оценки всхожести на 7-е сут подсчитывали общее число нормально проросших семян. Для анализа использовали 2 пробы по 50 семян. Энергию прорастания и всхожесть семян выражали в процентах. Твердые, загнившие семена и семена с аномальными проростками подсчитывали отдельно. В тех случаях, когда за время определения всхожести семена только наклеивались, их оставляли в условиях проращивания для дополнительной проверки на 3-и сут; если они давали нормальные проростки, то их прибавляли к числу проросших. Доля твердых и ненормальных проростков была незначительной, поэтому их в расчет не брали.

Для всех расчетов и создания графиков использовали программу STATISTICA v.10 («StatSoft, Inc.», США). Вычисляли средние значения (M) и стандартные ошибки средних ($\pm SEM$). Величину $p < 0,05$ определяли допустимой границей статистической значимости, поскольку этот уровень включает вероятность ошибки 5 %.

Результаты. Образцы, изученные в эксперимент, приведены в таблице 1.

Исходная влажность семян в начале эксперимента в среднем составляла 10 %, после выравнивания влажности семян перед проведением их ускоренного старения — 9,5 %. В процессе ускоренного старения влажность семян повышалась до 12,5 %. Выравнивание влажности после ускоренного старения семян привело к ее снижению до 10,1 %.

1. Образцы гуара *Cyatopsis tetragonoloba* (L.) Taub. из коллекции ВИР, исследуемые по посевным качествам

№ по каталогу ВИР, к	Название образца	Происхождение	Селекционный статус
Толерантные к засухе			
52877	Cluster Beans Long Kothu Avarai	Индия	Местный сорт
52910	P.L.G.850	Индия	Местный сорт
52937	P.L.G.422	Индия	Местный сорт
52938	J.C. 3118	Индия	Сорт научной селекции
Чувствительные к засухе			
52904	J.C.8926	Индия	Сорт научной селекции
52918	Local	Индия	Местный сорт
52924	Local	Индия	Местный сорт
52926	Local	Индия	Местный сорт
Нейтральные по отношению к водоснабжению			
52854	Local	Индия	Местный сорт
52891	'Suvti' var. 43	Индия	Сорт
52931	Cluster Beans	Индия	Местный сорт
52932	Local	Пакистан	Местный сорт

При проращивании семян всех трех условных возрастов, полученных от растений, выращенных как в условиях полива, так и при засухе, наблюдалась изменчивость признаков «всхожесть семян» и «энергия прорастания». Так, исходные семена репродукции 2023 года от растений, выращенных при поливе, независимо от отношения к засухе, имели всхожесть от 43 до 100 %, выращенных в условиях засухи — от 40 до 99 %. После старения семян в течение 5 сут эти показатели варьировали от 36 до 100 % (полив) и от 35 до 100 % (засуха); при старении в течение 10 сут — соответственно от 24 до 93 % и от 18 до 96 % (табл. 2).

2. Энергия прорастания (ЭП) и всхожесть (В) семян репродукции 2023 года после ускоренного старения у образцов гуара *Cyatopsis tetragonoloba* (L.) Taub. с разным отношением к засухе (коллекция ВИР, $M \pm SEM$, лабораторный опыт)

Отношение растений к засухе	Свежая репродукция		Ускоренное старение			
			в течение 5 сут		в течение 10 сут	
	ЭП, %	В, %	ЭП, %	В, %	ЭП, %	В, %
Семена с растений, выращенных при поливе						
Нейтральные к режиму водоснабжения	49,50±7,51	76,60±7,99	70,50±9,39	74,50±8,92	30,50±5,78	53,25±8,89
Толерантные к засухе	51,25±4,46	92,50±1,92	82,75±3,38	89,50±2,85	37,50±8,29	76,00±3,76
Чувствительные к засухе	50,50±7,36	78,25±7,31	65,75±8,27	71,50±7,37	41,25±8,06	74,25±9,29
Семена с растений, выращенных при засухе						
Нейтральные к режиму водоснабжения	41,75±10,61	70,50±8,02	67,50±8,89	77,00±9,89	53,14±12,89	71,71±9,75
Толерантные к засухе	56,25±7,24	86,00±5,15	72,00±11,95	82,50±7,39	51,00±9,83	80,75±9,26
Чувствительные к засухе	50,75±5,17	79,00±4,39	65,00±4,63	75,75±4,56	32,50±10,69	57,75±9,62

Примечание. Всего изучено 12 образцов ($n = 12$), по 50 семян для расчета каждого показателя.

Интересно отметить, что самой высокой энергией прорастания обладали семена с растений, выращенных как при поливе, так и на фоне засухи, состаренные в течение 5 сут. Наибольшие средние значения энергии прорастания были у группы толерантных к засухе образцов (82,75 и 72,00 % соответственно в вариантах с поливом и засухой). При более длительном состаривании (10 сут) мы зафиксировали низкие показатели энергии прорастания у семян с растений из всех групп, выращенных при поливе (от 30,50 до 41,25 %), а у семян с растений, выращенных при засухе, самая низкая энергия была отмечена в группе чувствительных к засухе образцов (32,50 %) (см. табл. 2, рис. 1).

Всхожесть семян имела тенденцию к уменьшению от свежей репродукции к наиболее сильному их старению. При выращивании растений в условиях полива и засухи самые высокие показатели всхожести полученных с них семян, не подвергшихся ускоренному старению, наблюдались у

группы толерантных к засухе образцов (соответственно 92,50 % и 86,00 %). Самые низкие значения всхожести были зафиксированы у состаренных в течение 10 сут образцов: при поливе — у нейтральных к режиму водоснабжения образцов (53,25 %), в условиях засухи — у чувствительных к засухе образцов (57,75 %). Безусловным фактом стало то, что всхожесть семян всех возрастов была максимальной у группы толерантных к засухе образцов при обоих режимах выращивания (см. табл. 2, рис. 2).

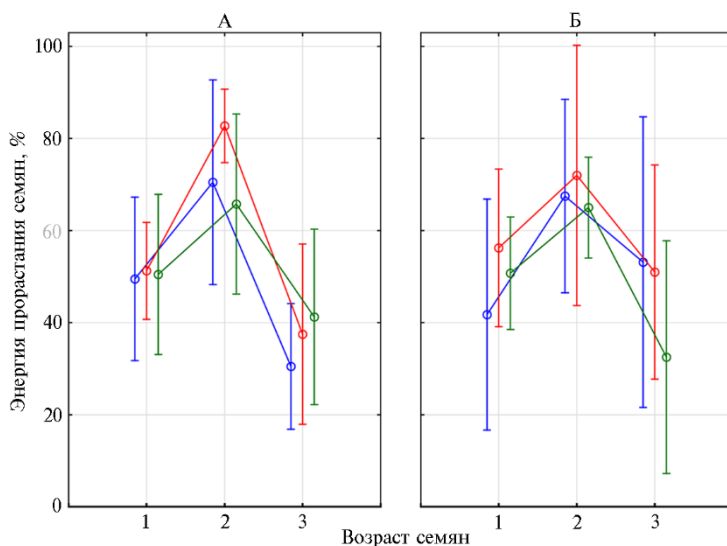


Рис. 1. Графики средних значений энергии прорастания семян (репродукция 2023 года), подвергнутых и не подвергнутых ускоренному старению, у нейтральных к режиму водоснабжения (синий график), толерантных (красный график) и чувствительных (зеленый график) к засухе образцов гуара *Cucumis tetragonoloba* (L.) Taub., выращенных при поливе (А) и засухе (Б): 1 — семена урожая 2023 года, полученные на Волгоградской ОС ВИР, хранившиеся при комнатной температуре в бумажном пакете в течение 1 года; 2 — семена с имитацией хранения, ускоренно состаренные в течение 5 сут; 3 — семена с имитацией более длительного хранения, ускоренно состаренные в течение 10 сут (коллекция ВИР, $M \pm SEM$, лабораторный опыт). Всего изучено 12 образцов ($n = 12$), по 50 семян для расчета каждого показателя.

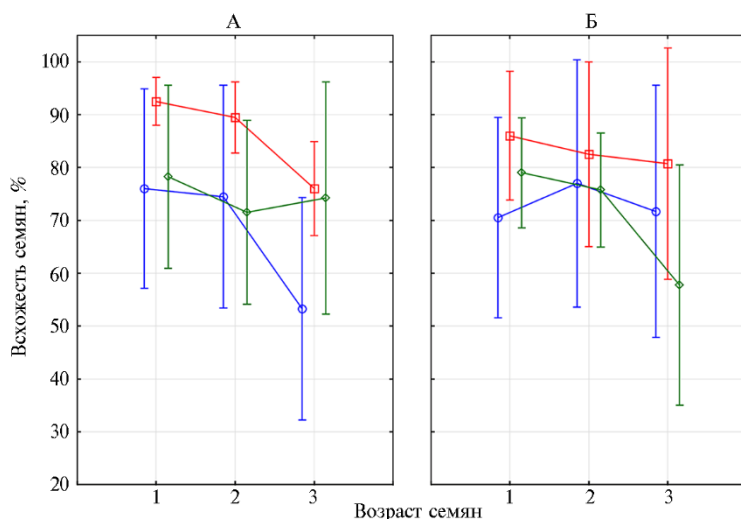


Рис. 2. Графики средних значений всхожести семян (репродукция 2023 года), подвергнутых и не подвергнутых ускоренному старению, у нейтральных к режиму водоснабжения (синий график), толерантных (красный график) и чувствительных (зеленый график) к засухе образцов гуара *Cucumis tetragonoloba* (L.) Taub., выращенных при поливе (А) и засухе (Б): 1 — семена урожая 2023 года, полученные на Волгоградской ОС ВИР, хранившиеся при комнатной температуре

в бумажном пакете в течение 1 года; 2 — семена с имитацией хранения, ускоренно состаренные в течение 5 сут; 3 — семена с имитацией более длительного хранения, ускоренно состаренные в течение 10 сут (коллекция ВИР, $M \pm SEM$, лабораторный опыт). Всего изучено 12 образцов ($n = 12$), по 50 семян для расчета каждого показателя.

Для оценки влияния анализируемых факторов на результативные признаки всхожести семян мы провели многофакторный дисперсионный анализ — комплексную оценку сравниваемых средних значений признаков с расчетом показателей варьирования, в частности дисперсии, их отношения F , а также уровня значимости (табл. 3).

Как показал многофакторный дисперсионный анализ, на изменчивость энергии прорастания и всхожести семян существенно влиял признак «возраст семян» — состояние семян (соответственно $p = 0,000$ и $p = 0,020$). Также установлено, что на изменчивость всхожести семян достоверно влиял статус образцов по отношению к засухе ($p = 0,003$).

3. Результаты многофакторного дисперсионного анализа ANOVA показателей всхожести семян у образцов гуара *Cyatopsis tetragonoloba* (L.) Taub. из коллекции ВИР по анализируемым параметрам

Показатель	Параметр	df	MS	F	p
Энергия прорастания	Отношение к засухе	2	778,18	1,41	0,249
	Режим выращивания	1	47,63	0,09	0,770
	Возраст семян*	2	10956,59	19,79	0,000
	Отношение к засухе × Режим выращивания	2	166,26	0,30	0,741
	Отношение к засухе × Возраст семян	4	158,72	0,29	0,886
	Режим выращивания × Возраст семян	2	611,63	1,10	0,335
	Отношение к засухе × Режим выращивания × Возраст семян	4	567,86	1,03	0,397
	Ошибка	125	553,74		
Всхожесть	Отношение к засухе*	2	2715,13	6,21	0,003
	Режим выращивания	1	10,10	0,02	0,879
	Возраст семян*	2	1768,73	4,05	0,020
	Отношение к засухе × Режим выращивания	2	289,00	0,66	0,518
	Отношение к засухе × Возраст семян	4	71,96	0,16	0,956
	Режим выращивания × Возраст семян	2	108,30	0,25	0,781
	Отношение к засухе × Режим выращивания × Возраст семян	4	570,42	1,31	0,272
	Ошибка	125	436,96		

Примечание. df — число степеней свободы, MS — средний квадрат отклонений, F — дисперсионное отношение, p — уровень значимости. * — отмечены параметры, имеющие существенное влияние на показатель ($p < 0,05$). Семена репродукции 2023 года, г. Волгоград.

Таким образом, во всех вариантах опыта самой высокой всхожестью обладали образцы, толерантные к засухе. Энергия прорастания семян также была самой высокой у группы толерантных к засухе образцов свежей репродукции и после 5 сут ускоренного старения. После состаривания семян в течение 10 сут происходили некоторые изменения: максимальной энергией прорастания обладали семена чувствительных к засухе образцов, сформировавшиеся при поливе, ненамного превосходя толерантные (соответственно 41,25 и 37,50 %), а выросшие в режиме засухи нейтральные к водоснабжению образцы сохранили наибольшую энергию прорастания, также незначительно превосходя толерантные к засухе (53,14 и 51,00 %).

Самые низкие показатели энергии прорастания и всхожести имели состаренные в течение 10 сут семена всех групп растений, выращенных при поливе. Эти семена с имитацией длительного хранения обнаружили интересные, вполне логичные закономерности: чувствительные к засухе образцы показали низкие энергию прорастания и всхожесть семян, если были выращены на фоне засухи (см. табл. 2). У толерантных к засухе образцов, напротив, эти показатели при поливе были ниже, чем при засухе. По-видимому, условия полива оказались для них субоптимальными. У нейтральных к засухе образцов оба показателя оказались выше при выращивании на фоне

засухе.

Работ, посвященных жизнеспособности семян гуара, практически нет в мировой литературе. Наиболее детальное исследование проведено на семенах коллекции ВИР, хранившихся 40 лет при +4,5 °С в Кубанском хранилище. Они имели высокие посевные качества, демонстрируя лабораторную всхожесть 92-94 % (21). Семена образцов, хранившиеся при комнатной температуре в течение 30 лет после репродукции в Узбекистане, обнаружили 50 % лабораторную всхожесть (19). В Индии в штате Харьяна изучали полевую всхожесть восьми сортов гуара после хранения их в течение 7, 19 и 31 мес в комнатных условиях в тканевых мешках. Через 7 мес после уборки полевая всхожесть составляла от 65 до 90 %, через 19 мес — в среднем 25,96 %, а через 31 мес хранения всхожесть была близка к нулевой и только один сорт имел всхожесть 14,33 %. Сделаны выводы о пригодности к посеву только семян предшествующего года репродукции и о необходимости поиска оптимальных способов хранения семян гуара (22).

Посевные качества семян, в частности всхожесть и энергия прорастания, приобретаются в процессе их развития на материнском растении (23). В благоприятных условиях семена достигают физиологической спелости и должны обладать хорошими посевными качествами.

Принято считать, что у семян, собранных с растений, подвергшихся стрессору засухи, снижается всхожесть. Это явление может быть обусловлено целым рядом физиологических причин: условия засухи могут препятствовать полному развитию семян, что сказывается на их жизнеспособности; недостаток воды приводит к нарушению обменных процессов, включая синтез белков и ферментов, необходимых для прорастания; увеличение концентрации реактивных форм кислорода и снижение содержания антиоксидантов приводят к повреждению клеток, в частности их мембраны; недостаток воды влияет на накопление важных веществ, таких как полисахариды и липиды (24-26).

Однако в зависимости от времени и степени воздействия стрессора и генетической конституции растения эти последствия могут быть неоднозначными. К примеру, засуха не оказала влияния на прорастание семян сои, мало повлияла на их жизнеспособность, не снизила окончательную всхожесть или силу роста. Хотя более сильное воздействие засухи существенно снизило массу семян и урожайность (соответственно 34 и 38 %), стрессор практически не повлиял на качество семян (27). В другом исследовании для сои продемонстрированы различия в посевных качествах семян в зависимости от их гетерогенности (крупные, средние и мелкие), появившейся в результате разной силы воздействия стрессора. Стресс от засухи снизил всхожесть семян средних размеров по сравнению с семенами, полученными при поливе, но не изменил стандартную всхожесть крупных семян (28).

Наше исследование также показало неоднозначность воздействия засухи на посевные качества разных генотипов гуара. Для поисков закономерностей в проявлении изучаемых признаков мы использовали ускоренное старение семян. Этот метод вошел в практику семеноведения достаточно давно (29), но его успешно продолжают применять и модифицировать (30). Он позволяет не только моделировать условия неблагоприятного хранения посевного материала и оценивать перспективы длительного хранения конкретной партии семян, но и производить быструю и эффективную оценку силы роста семян в лабораторных условиях (18, 31). В результате ускоренного старения семян происходит их качественное ухудшение, проявляющееся в разной степени у разных генотипов (32). При этом семена

хорошего качества лучше переносят экстремальные условия и повреждаются медленнее, чем семена плохого качества (18, 31, 33). Исходя из этих положений, мы с определенной степенью условности считали ускоренное старение в течение 5 сут адекватным определенному периоду хранения семян, а в течение 10 сут — более длительному периоду их хранения.

Всхожесть семян свежей репродукции (исходных) у всех групп растений гуара, выращенных как на фоне засухи, так и при поливе, была сравнительно высокой и варьировала в среднем от 76,60 до 92,5 %. Однако энергия прорастания оказалась сравнительно низкой — от 49,50 до 56,75 %.

Энергия прорастания, как известно, характеризует способность семян давать в полевых условиях дружные и ровные всходы, обеспечивая выровненность посевов. В нашем опыте при ускоренном старении в течение 5 сут энергия прорастания значительно возросла. Это явление встречается не так уж редко, и его можно объяснить, скорее всего, стимулирующим воздействием повышенной температуры на ранних этапах ускоренного старения (34). Показатели всхожести в этом варианте искусственного старения снизились незначительно, а в группе нейтральных образцов на фоне засухе даже повысились. Самое явное ухудшение качества семян было зафиксировано после ускоренного старения в течение 10 сут у группы чувствительных к засухе образцов по сравнению с толерантными, что подтверждает постулат о более быстром повреждении семян худшего качества при ускоренном старении. Субоптимальные для роста и развития растений условия засухи на поздних стадиях формирования семян у чувствительных к ней генотипов, по-видимому, ускоряют разрушение клеточных компонентов по сравнению с таковым у устойчивых генотипов (35), что сказывается на жизнеспособности семян.

Несколько противоречивые результаты в нашем исследовании показали образцы, классифицированные как нейтральные к режиму водоснабжения. Очевидно, одни из них были более близки к чувствительным к засухе образцам, другие — к толерантным к ней.

Необходимо отметить, что у ряда образцов в нашем опыте исходно зафиксированы низкие показатели всхожести. Например, у сорта *Suvti* (к-52891, Индия) семена свежей репродукции с растений, выращенных при поливе, показали всего 43 %, а с растений, выращенные на фоне засухи, — 40 % всхожести. Схожие результаты получены и при ускоренном старении этих семян в течение 5 сут (36 % при поливе и 35 % в условиях засухи). Мы объясняем это тем, что образец не имел достаточного времени для созревания в условиях г. Волгограда. В силу объективных обстоятельств уборка всех образцов происходила одновременно, независимо от продолжительности необходимого им вегетационного периода. В 2023 году уборку всех образцов проводили после 120 сут вегетации. Судя по числу невызревших бобов, многие образцы ее не закончили.

Наличие вызревших и незозревших бобов на растении во время уборки характерно для многих зернобобовых культур, например, сои, гороха, бобов конских, арахиса. У гуара бобы созревают акропетально, и к моменту, когда в нижней части растения сформированы зрелые бобы, готовые к вскрыванию, в верхней присутствуют совсем молодые, недавно завязавшиеся. Особенно это характерно для поздно созревающих генотипов, продолжительность вегетационного периода которых в условиях нашего эксперимента нам не удалось определить. О позднеспелости образца мы можем судить косвенно, по числу узлов с невызревшими бобами. Обсуждаемый нами сорт *Suvti* при поливе имел 31 узел с созревшими и 39 узлов с невызревшими бобами. Это свидетельствует, во-первых, о реализованном

менее чем наполовину потенциале продуктивности, и, во-вторых, вполне вероятно, что не все убранные семена даже в визуально созревших бобах смогли дойти до окончательной спелости. Это типично для многих бобовых культур. У арахиса при сборе урожая обнаруживается до 30 % незрелых семян (36).

Итак, генетическая предрасположенность к засухе (толерантных к засухе образцов) сыграла ключевую роль в сохранении посевных качеств семян при выращивании растений в условиях засухи. Сравнительный анализ посевных качеств семян, собранных с растений гуара, выращенных в условиях систематического полива и искусственной засухи в полевых условиях Волгоградской области, выявил гетерогенность образцов по анализируемым признакам и показал, что режим выращивания существенно влиял на лабораторную всхожесть семян. Изучение образцов с разным отношением к засухе (толерантных, чувствительных и с промежуточными значениями признака) с применением метода ускоренного старения в сравнении с семенами, не подвергнутыми этому процессу, показало, что на изменчивость энергии прорастания и всхожести семян существенно влияет параметр, условно названный нами «возрастом семян» (соответственно $p = 0,000$ и $p = 0,020$), а на изменчивость показателей всхожести семян достоверное влияние имел статус образцов по отношению к засухе ($p = 0,003$). Максимальную всхожесть показали семена толерантных к засухе образцов, выращенных как при поливе, так и на фоне засухе, подвергнутые и не подвергнутые ускоренному старению. Это свидетельствует о способности толерантных генотипов адаптироваться к стрессовым условиям посредством мобилизации механизмов защиты от засухи, которые позволяют оптимизировать использование ресурсов и направлять их для формирования качественных семян. Есть основания предположить, что традиционная селекция засухоустойчивых сортов и/или создание их за счет модификации генома могут стать эффективной методологией получения качественных семян гуара при его выращивании в неблагоприятных условиях засухи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Climate change and water. Technical paper of the intergovernmental panel on climate change* /B.C. Bates, Z.W. Kundzewicz, S. Wu, J. Palutikof (eds.). Geneva, 2008.
2. Li Y., Ye W., Wang M., Yan X. Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Climate Research*, 2009, 39(1): 31-46 (doi: 10.3354/cr00797).
3. Konapala G., Mishra A.K., Wad Y., Mann M.E. Climate change will affect global water availability through compounding changes in seasonal precipitation and evaporation. *Nature Communications*, 2020, 11(1): 3044 (doi: 10.1038/s41467-020-16757-w).
4. 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/agrobiology.2017.6.1116rus).
5. *Guar Gum Imports in Russia - Market Size & Demand based on Import Trade Data*. Режим доступа: <https://www.volza.com/p/guar-gum/import/import-in-russia/>. Дата обращения: 07.08.2024.
6. Khanzada B., Ashraf M.Y., Ala S.A., Alam S.M., Shirazi M.U., Ansari S. Water relations in different guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub) genotypes under water stress. *Pakistan Journal of Botany*, 2001, 33: 279-287.
7. 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.
8. 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).
9. Upreti P., Narayan S., Khan, F.F., Tewary L.M., Shirke P. Drought-induced responses on physiological performance in cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *Plant Physiology*

- Reports*, 2021, 26: 49-63 (doi: 10.1007/s40502-021-00574-4).
10. 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).
 11. Вишнякова М.А., Шаухаров Р.А., Гурина А.К., Кочерина Н.В., Дзюбенко Е.А., Черевачкая М.А., Фролова Н.В., Фролов А.А. Гуар в Российской Федерации: попытка осмысления полученного опыта. *Мат. 7-й Межд. конф. «Генофонд и селекция растений», посвященной 95-летию академика РАН П.Л. Гончарова*. Новосибирск, 2024: 88-92 (doi: 10.18699/GPB-2024-01).
 12. 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).
 13. Nadeemy M., Li J., Yahya M., Sher A., Ma C., Wang X., Qiu L. Research progress and perspective on drought stress in legumes: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 2019, 20(10): 2541 (doi: 10.3390/ijms20102541).
 14. Khatun M., Sarkar S., Era F.M., Islam A.K.M.M., Anwar M.P., Fahad S., Datta R., Islam A.K.M.A. Drought stress in grain legumes: effects, tolerance mechanisms and management. *Agronomy*, 2021, 11(12): 2374 (doi: 10.3390/agronomy11122374).
 15. Hummel M., Hallahan B.F., Brychkova G., Ramirez-Villegas J., Guwela V., Chataika B., Curley E., McKeown P.C., Morrison L., Talsma E.F., Beebe S., Jarvis A., Chirva R., Spillane C. Reduction in nutritional quality and growing area suitability of common bean under climate change induced drought stress in Africa. *Scientific Reports*, 2018, 8(1): 16187 (doi: 10.1038/s41598-018-33952-4).
 16. Dornbos Jr. D.L., Mullen R.E., Shibles R.M. Drought stress effects during seed fill on soybean seed germination and vigor. *Crop Science*, 1989, 29(2): 476-480 (doi: 10.2135/CROP-SCI1989.0011183X002900020047X).
 17. Heatherly L.G. Drought stress and irrigation effects on germination of harvested soybean seed. *Crop Ecology, Production & Management*, 1993, 33(4): 777-781 (doi: 10.2135/cropsci1993.0011183X003300040029x).
 18. Алексейчук Г.Н. *Сила роста семян зерновых культур и ее оценка методом ускоренного старения*. Минск, 2009.
 19. Раковская Н.В., Забегаева О.Н., Дзюбенко Е.А. Оценка качества семян коллекции 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).
 20. *ГОСТ 12038-84. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести*. М., 2011.
 21. Булынец С.В., Валяникова Т.И., Силаева О.И., Копоть Е.И., Пимонов К.И. Гуар — новая бобовая культура для России. *Мат. Всерос. науч.-практ. конф. «Инновации в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур»*. Персиановка, 2017: 167-172.
 22. Arora R.N. Natural aging effect on seed germinability of clusterbean cultivars. *Indian Journal of Plant Genetic Resources*, 2002, 15(3): 292-293.
 23. Fenner M. The effects of the parent environment on seed germinability. *Seed Science Research*, 1991, 1: 75-84 (doi: 10.1017/S0960258500000696).
 24. Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D., Basra S.M.A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*, 2009, 29(1): 185-212 (doi: 10.1051/agro:2008021).
 25. Yigit N., Sevik H., Cetin M., Kaya N. Determination of the effect of drought stress on the seed germination in some plant species. In: *Water stress in plants* /I.M.M. Rahman, Z.A. Begum, H. Hasegawa (eds.). InTech, 2016: 43-62 (doi: 10.5772/63197).
 26. Golijan Pantović J., Popović V.M., Sečanski M., Popović A., Djordjević-Melnik O., Šarčević Todosijević L. Factors affecting seed vigour. *Agriculture and Forestry*, 2024, 70(3): 85-103 (doi: 10.17707/AgricultForest.70.3.06).
 27. Vieira R.D., TeKrony D.M., Egli D.B. Effect of drought stress on soybean seed germination and vigor. *Journal of Seed Technology*, 1991, 15(1): 12-21.
 28. Samrah N.H., Mullen R.E., Anderson I. Soluble sugar contents, germination and vigor of soybean seeds in response to drought stress. *Journal of New Seeds*, 2009, 10(2): 63-73 (doi: 10.1080/15228860902786525).
 29. Delouche J., Baskin C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. *Seed Science Technology Journal*, 1973, 1(2): 427-452.
 30. da Silva M.F., Soares J., Silva Martins M., dos Santos Silva F.C., da Silva F.L., da Silva L.J. Artificial aging for predicting the storability of soybean seeds via GGE biplot. *Journal of Seed Science*, 2024, 46(113): e20244600 (doi: 10.1590/2317-1545v46270874).
 31. *Handbook of vigour test methods* /J.G. Hampton, D.M. TeKrony (eds.). Zurich, 1995.

32. Смоликова Г.Н. Применение метода ускоренного старения для оценки устойчивости семян к стрессовым воздействиям. *Вестник СПбГУ. Серия 3. Биология*, 2014, 2: 82-93.
33. Сафина Г.Ф., Филипенко Г.И. Долговечность семян при хранении и ее прогнозирование методом ускоренного старения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 2013, 174(1): 123-130.
34. Лихачев Б.С., Мусорина Л.И., Шевченко З.Н., Витмер Л.Г., Зеленский Г.В. Использование экстремальных условий хранения семян в моделировании процессов их старения. *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института растениеводства им. Н.И. Вавилова*, 1978, 77: 57-62.
35. Sattler S.E., Gilliland L.U., Magallanes-Lundback M., Pollard M., DellaPenna D. Vitamin E is essential for seed longevity and for preventing lipid peroxidation during germination. *The Plant Cell Online*, 2004, 16(6): 1419-1432 (doi: 10.1105/tpc.021360).
36. Carter E.T., Rowland D.L., Tillman B.L., Erickson J.E., Grey T.L., Gillett-Kaufman J.L., Clark M.W. Pod maturity in the shelling process. *Peanut Science*, 2017, 44: 26-34.

¹ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44,
e-mail: m.vishnyakova.vir@gmail.com ✉, t.yavorskaya@vir.nw.ru,
romanshauharov@mail.ru, alle007@mail.ru, e.dzyubenko@vir.nw.ru,
g.filipenko@vir.nw.ru

Поступила в редакцию
18 июля 2025 года
Принята к публикации
29 августа 2025 года

²ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, филиал
Волгоградская опытная станция,
404160 Россия, г. Краснослободск, Волгоградская обл.,
мкр. опытной станции ВИР, 30

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2025, V. 60, № 5, pp. 875-886

COMPARATIVE ASSESSMENT OF THE SOWING QUALITIES OF GUAR *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub SEEDS GROWN UNDER IRRIGATION AND ARTIFICIAL DROUGHT IN THE LOWER VOLGA REGION

*M.A. Vishnyakova*¹ ✉, *T.A. Yavorskaya*¹, *R.A. Shaukharov*^{1, 2},
*N.V. Kocherina*¹, *E.A. Dzyubenko*¹, *G.I. Filipenko*¹

¹Federal Research Center Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42-44, ul. Bol'shaya Morskaya, St. Petersburg, 190000 Russia, e-mail m.vishnyakova.vir@gmail.com (✉ corresponding author), t.yavorskaya@vir.nw.ru, romanshauharov@mail.ru, alle007@mail.ru, e.dzyubenko@vir.nw.ru, g.filipenko@vir.nw.ru;

²Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Volgograd Experiment Station, 30, mkr. Opytnoi stantsii VIR, Krasnoslobodsk, Volgograd Province, 404160 Russia

ORCID:

Vishnyakova M.A. orcid.org/0000-0003-2808-7745

Dzyubenko E.A. orcid.org/0000-0003-4576-1527

Yavorskaya T.A. orcid.org/0009-0000-6748-4861

Kocherina N.V. orcid.org/0000-0002-8791-1899

Shaukharov R.A. orcid.org/0000-0001-9794-104X

Filipenko G.I. orcid.org/0000-0001-8419-1518

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially from the Russian Science Foundation, project No. 23-16-00195 of May 15, 2023

Final revision received July 18, 2025

doi: 10.15389/agrobiol.2025.5.875eng

Accepted August 29, 2025

Abstract

The study of various aspects of the biology of the cultivated legume guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub), an alien crop for a number of southern regions of the Russian Federation, is needed to optimize the placement of the crop in the appropriate agricultural environment. Since the early 2010s, when guar was introduced in the Russian Federation, domestic breeders have created more than a dozen varieties. Seed production is necessary, and its main goal is to obtain seeds with high germination rate. Studying the impact of stressful growing conditions, particularly drought, on seed quality is of significant practical interest. Water stress is considered the most important cause of reduced legume yields worldwide. The negative impact of drought is reflected in reduced germination and vigor of seeds, as well as a decrease in their nutritional value. In this work, for the first time, the effect of drought on the sowing qualities of guar seeds was analyzed with special attention to the accessions that exhibit contrasting responses to drought: drought-tolerant and drought-sensitive accessions, as well as accessions that are neutral to the water supply regime. The aim of the work was to investigate the effect of drought on the sowing qualities of freshly reproduced guar seeds and those that simulate long-term storage (subjected to accelerated aging), as well as to reveal possible differences in the sowing qualities

of accessions that respond differently to water supply—those that are drought-tolerant, drought-sensitive, and drought-neutral. The material consisted of 12 guar accessions from the VIR collection, grown at the Volgograd experimental station VIR under irrigation and artificial drought conditions created by stopping irrigation at the stage of formation of the last pod in the first cluster (at the end of June) (the "growing regime" parameter). In a field experiment conducted in 2023-2024, the studied accessions were differentiated into three groups with respect to water supply: tolerant, drought-sensitive, and neutral (the "accession status" parameter). Four accessions from each group were included in the current experiment, conducted at the VIR Plant Genetic Resources Long-Term Storage Laboratory (St. Petersburg) in 2025. Accelerated seed aging was achieved by placing the seeds on a mesh in a desiccator over a saturated sodium chloride solution (75 % relative humidity) and incubating them in a thermostat at 40 °C. Two experiments were conducted. In the first, incubation in the thermostat was carried out for 5 days, in the second — for 10 days (the "seed age" parameter). Seeds were equalized in moisture content by placing them in a desiccator on a mesh over a saturated calcium chloride solution (35 % relative humidity) in a thermostat at 20 °C for 5 days. Guar seed germination was analyzed before and after accelerated aging by germination in filter paper rolls in a thermostat in the dark at 30 °C during the day and 20 °C at night. Germination energy was calculated on the 3rd day. On the 7th day, the germination rate was calculated—the total number of normally germinated seeds. A comparative analysis of the sowing qualities of seeds collected from guar plants grown under systematic irrigation and artificial drought in the Volgograd region revealed heterogeneity among the accessions for the analyzed traits and demonstrated that the growing regime significantly influenced laboratory seed germination. Variability in germination energy and seed germination was significantly affected by a parameter we conventionally termed "seed age" ($p = 0.000$ and $p = 0.020$, respectively), while the "accession status" significantly influenced the variability in seed germination ($p = 0.003$). The highest germination rates were demonstrated by seeds from drought-tolerant accessions grown under both irrigation and drought, and by those subjected to accelerated aging and those not subjected. Thus, the genetic predisposition of genotypes to drought played a key role in maintaining the sowing qualities of seeds grown under drought conditions. This demonstrates the ability of tolerant genotypes to adapt to stressful conditions by mobilizing drought defense mechanisms that optimize resource use and direct them toward the formation of high-quality seeds.

Keywords: guar, seeds, sowing qualities, artificial aging, drought stress.