

**СЕЛЕКЦИЯ ГУАРА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
В СВЯЗИ С ПЕРСПЕКТИВОЙ ПРОИЗВОДСТВА  
ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КАМЕДИ\***  
(обзор)

Е.А. ДЗЮБЕНКО<sup>1</sup> ✉, В.И. САФРОНОВА<sup>2</sup>, М.А. ВИШНЯКОВА<sup>1</sup>

Гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) — источник камеди, добываемой из эндосперма семян этого однолетнего бобового растения (D. Mugdil с соавт., 2014; R. Pathak с соавт., 2015). Гуаровая камедь широко применяется как гелеобразующий агент в газонефтяной отрасли, а также как загуститель в пищевой, косметической, текстильной и бумажной отраслях промышленности (R.J. Chudzikowski с соавт., 1971; N.Thombare с соавт., 2016; А.М.А. Hasan с соавт., 2018). Гуар обладает умеренной засухоустойчивостью, толерантен к засолению почв и нетребователен к их плодородию (D.J. Undersander с соавт., 1991; R.K.Bhatt с соавт., 2017). Доместикация гуара произошла в Индии и Пакистане, где его в течение веков выращивали как кормовое растение (N. Thombare с соавт., 2016). Эти страны и в наши дни остаются главными производителями и экспортёрами культуры, но уже как продуцента камеди. В рамках импортозамещения гуар был интродуцирован в Российскую Федерацию, где в течение последнего десятилетия в некоторых районах Южного федерального округа и Нижнего Поволжья получают производственные партии кондиционных семян. Экспериментальные партии камеди, извлеченной из отечественных семян, показали, что она по количеству и качеству соответствует нормативам (I.V. Kruchina-Bogdanov с соавт., 2019). Есть все основания предполагать, что в ближайшем будущем гуаровая камедь будет производиться в России. Для интенсификации производства гуара требуется создание новых, адаптированных к условиям РФ сортов. Несколько отечественных сортов уже создано, в том числе четыре сорта выведены в ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова — ВИР (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, 2022). Поскольку получение камеди зависит от семенной продуктивности культуры, достаточно остро стоит вопрос повышения ее урожайности (А.К. Jukanti с соавт., 2019). Однако в РФ, где главный лимитирующий фактор для гуара — это теплообеспеченность (Д.В. Лебедь с соавт., 2017), приоритетным признаком становится скороспелость, которая, в свою очередь, связана с чувствительностью растения к фотопериоду. Поэтому необходим поиск в генофонде форм с пониженной чувствительностью к фотопериоду, способных в условиях сравнительно короткого лета производить полноценные семена (S.V. Terlyakova с соавт., 2019). При интродукции культуры в более северные широты в условиях длительного вегетационного периода при понижении ночных температур и повышенной влажности у гуара формируются некачественные, темнеющие в бобах семена (Т. Нумовитз с соавт., 1963; Д.В. Лебедь с соавт., 2018). В связи с этим в РФ важно использовать максимально скороспелые, ранние сорта гуара. Встает вопрос об оптимальной для условий РФ архитектонике растений, способствующей формированию высокопродуктивных агроценозов (М.И. Волошин с соавт., 2019). Многие исследователи рекомендуют использовать одностебельные и малостебельные сорта гуара как более скороспелые и пригодные к механизированной уборке, они в большей степени соответствуют индустриальной модели сорта (F. Gresta с соавт., 2018; С.М.Г. Reis с соавт., 2021). Также к раннеспелым относятся сорта с детерминантным типом роста (Е.А. Дзюбенко с соавт., 2017). Гуар, как и большинство других однолетних бобовых культур, относится к самоопылителям (R.E. Stafford с соавт., 1975), техника его гибридизации сложна, и процент успешно проведенных скрещиваний невысок (R.E. Stafford с соавт., 1980). Основной метод традиционной селекции у гуара — индивидуальный отбор выделившихся растений (А.К. Jukanti с соавт., 2019). Исследователи сходятся во мнении, что для повышения урожайности культуры ключевым индексом для отбора должен быть показатель количества бобов на растении (F. Gresta с соавт., 2013). Наличие генетических и геномных ресурсов вида позволяет вести селекцию гуара как традиционными, так и молекулярными методами (S. Kumar с соавт., 2017). Для гуара идентифицировано несколько типов молекулярных маркеров, однако их не так много, как у других бобовых (W. Ravelombola с соавт., 2021). Необходимо также быть готовыми к воздействию биотических стрессоров — болезней и вредителей, для чего нужно создавать устойчивые сорта с широкой генетической основой (Е.Е. Радченко с соавт., 2018). Весь круг этих вопросов очерчен в представленном обзоре как задачи, стоящие перед отечественными селекционерами гуара при создании сортов — продуцентов камеди. Обсуждаются перспективы использования методов маркер-опосредованной и геномной селекции (S. Kumar с соавт., 2020; E. Gigoreva с соавт., 2021; S. Pareek с соавт., 2022). Созданные отечественные сорта гуара получены методом традиционной

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 21-16-00084).

селекции, но активное развитие геномных, метаболомных и транскриптомных ресурсов вида дает основание надеяться на скорое практическое применение прорывных методов селекции культуры, которые позволят повысить урожайность и адаптацию гуара в условиях РФ.

**Ключевые слова:** гуар, гуаровая камедь, интродукция, селекция, семенная продуктивность, скороспелость.

Гуар (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub) — однолетняя зернобобовая сельскохозяйственная культура, в последние десятилетия ставшая одним из самых востребованных в мире источников галактоманнана — полисахарида семян, который после извлечения и переработки используется под названием гуаровая камедь (гуаран). По масштабу применения в различных отраслях промышленности галактоманнаны растений и их производные идут после целлюлозы и крахмала. Эти полисахариды, благодаря уникальным свойствам своих водных растворов и отсутствию токсичности, используются в качестве пищевых добавок, стабилизаторов, флокулянтов, загустителей и гелеобразователей в бинарных смесях (1).

Гуаровая камедь — самый востребованный в мире галактоманнан в силу своей безопасности и нетоксичности, возможности получения из возобновляемых природных ресурсов, легко и в большом количестве доступный. Она находит широкое применение в качестве натурального загустителя, стабилизатора и уплотнителя в бумажной, текстильной, фармацевтической, пищевой, косметической отраслях промышленности, но особенно востребована в газонефтяной отрасли (2-6). Доместикация гуара произошла в Южной Азии, и долгое время основными производителями культуры преимущественно в качестве кормового растения были Индия и Пакистан. Эти страны и в наши дни остаются лидерами производства гуара, имея статус ведущих экспортеров семян и получаемой из них камеди. К настоящему времени производственный ареал гуара расширился, но ограничен преимущественно тропическими районами США, Австралии, Бразилии и некоторых стран Африки. Ежегодное производство семян гуара во всем мире составляет около 3,4 млн т (7). Российская Федерация наряду с Германией, Нидерландами, Италией, Францией, Испанией и Великобританией — крупнейший импортер гуаровой камеди в Европе (8). Зависимость от импортного гуарана побудила российских ученых и аграриев к активным действиям по интродукции культуры в Россию. В Краснодарском крае, Ростовской области и в Крыму появились частные хозяйства и селекционеры, пытающиеся наладить производство и селекцию гуара. Это послужило импульсом мобилизации нового материала в коллекцию ВИР (ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова) и инициировало исследования культуры российскими учеными. Изучены различные аспекты биологии гуара при выращивании в разных географических локациях (9-11), выявлен диапазон внутривидовой изменчивости признаков в условиях РФ (12), определен круг патогенов гуара и восприимчивость к ним генофонда культуры (13, 14).

Для любого интродуцируемого вида при возделывании в нетипичных для него условиях возникают проблемы подбора агротехники, борьбы с заболеваниями и вредителями, а также улучшения имеющихся сортов. Наиболее актуальные вопросы в контексте получения камеди — высокая семенная продуктивность и качество получаемого зерна. Сорты, интродуцируемые в РФ из тропических и субтропических регионов, даже при наличии признаков высокой продуктивности, могут не соответствовать местным эколого-климатическим условиям, длине фотопериода, иметь восприимчивость к местным биотическим и абиотическим стрессорам. Необходимо создавать отечественные, адаптированные к конкретным условиям регионов,

сорта гуара.

В настоящей статье представлен анализ результатов выращивания гуара в Российской Федерации, рассмотрены лимитирующие факторы для производства культуры и очерчен круг задач, встающих перед селекционерами гуара при создании отечественных сортов — продуцентов гуаровой камеди.

Гуаровая камедь: химический состав и свойства. Основной компонент гуаровой камеди — полисахарид галактоманнан, состоящий из D-маннозы (Man) и D-галактозы (Gal). Химический состав галактоманнана предполагает наличие множества гидроксильных групп, которые обеспечивают соединение с другими полимерами для создания новых химически модифицированных соединений с желаемыми свойствами, менее дорогостоящими, биоразлагаемыми и экологически чистыми (15).

Высокоочищенная гуаровая камедь используется в пищевой промышленности, более низкого качества гуаран находит множество других применений, в том числе в качестве присадки для бурового раствора. При использовании во время бурения нефтяных скважин гуаровая камедь предотвращает потерю воды из вязкого бурового раствора и суспендирует бентонитовую глину. Гуаран дешевле, чем большинство других загустителей бурового раствора. Особенно важно то, что реологические свойства, вязкость раствора, склонность к эмульгированию природных и химически модифицированных галактоманнанов могут быть изменены посредством взаимодействия с другими мономерами или полимерами углеводной основы (16).

Галактоманнаны локализованы в клеточных оболочках эндоспермальной ткани и выполняют функцию энергетического резерва и регулятора водного баланса семени при его прорастании. У ряда бобовых растений (горох, фасоль) эндосперм отсутствует, у других составляет небольшой процент от массы семени: у пажитника (*Trigonella foenum-graecum* L.) — 14 %, у люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) — не более 6 % (17). В семени гуара эндосперм крупный сферический и составляет 38–45 % от его массы (18). Согласно разным источникам, процентное соотношение структурных компонентов семени и биохимический состав эндосперма гуара могут несколько варьировать (табл. 1).

#### 1. Количественное соотношение структурных компонентов семени гуара *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub и биохимический состав его эндосперма

Компонент	Количество, %
Структурные компоненты семени (16, 19, 20)	
Семенная кожура	14-16
Зародыш	45
Эндосперм	38-45
Биохимический состав эндосперма (18)	
Галактоманнан	75-85
Белок	5-6
Зола	0,5-1
Клетчатка	2-3
Жир	0,5-0,9
Влага	8-14

Соотношение Man/Gal влияет на вязкость гуаровой камеди. Эта величина видоспецифична и определяет различные промышленные применения галактоманнанов семян. Как все биохимические показатели, содержание галактоманнана (процент от сухой массы семени) зависит от условий выращивания и, по данным разных авторов, значительно варьирует: 15,9–31,8 % (21); 21,8–34,4 % (22); 28,5–32,9 % (23); 35,0 % (5); 16,8–36,7 % (24).

Содержание маннозы и галактозы у гуара в среднем составляет соответственно 67-73 % и 27-33 %, то есть 2:1 (18). У других видов бобовых, которые служат основными источниками камеди, выявлено следующее соотношение этих компонентов: у пажитника сенного (*Trigonella foenum-graecum* L.) ~ 1,1:1 (25), цезальпинии колючей (*Caesalpinia spinosa* (Molina) Kuntze) ~ 3:1 (26), рожкового дерева (*Ceratonia siliqua* L.) ~ 4:1 (27). Эти различия определяют применение камеди указанных видов в качестве разных добавок в пищевой промышленности и желатирующих добавок в косметике. В семенах многих диких видов бобовых отечественной флоры выявлены галактоманнаны с пропорциями Man/Gal 1,15-2,30 (28).

Камедь получают главным образом из измельченного эндосперма после удаления кожуры семян (19). При промышленном производстве зерно гуара в специальных механизмах раскалывают на две половинки содержащего галактоманнан эндосперма (так называемый сплит), а зародыш и семенная кожура, содержащие белок, в дальнейшем используются в кормах для животных (29).

Опыт интродукции и производства гуара в Российской Федерации. Гуар обладает умеренной засухоустойчивостью, толерантен к засолению почв и нетребователен к их плодородию. Это растение высотой 57-110 см, цветущее преимущественно бело-розовыми цветками, собранными в прямостоячие кисти (рис. 1, а). Зрелые бобы длиной 6-8 см содержат от 5 до 12 семян, варьирующих по величине между генотипами, масса одного семени — от 11 до 51 мг (30). Бобы собраны в плотные кисти (clusters) (см. рис. 1, б), в силу чего англоязычное название растения звучит как cluster bean. Семена гуара содержат 27-37 % белка, сосредоточенного преимущественно в зародыше и семенной кожуре (31). Окраска семян варьирует от тускло-белых до розовых, светло-серых или черных, но преимущественно бежевая (см. рис. 1, в). Необходимо отметить, что гуар — отличная почвоулучшающая культура и хорошо wpisывается в севооборот с пшеницей, хлопчатником, зерновым сорго, овощами (32, 33).



**Рис. 1.** Соцветия (а), бобы (б) и семена (в) гуара *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub из коллекции ВИР (ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург) (фото Е.А. Дзюбенко).

В условиях РФ основной ограничивающий фактор для гуара — теплообеспеченность. Сумма эффективных температур воздуха выше 10 °С за период вегетации должна составлять не менее 3400-3500 °С. По летним температурам воздуха и другим климатическим показателям аграрные районы Северного Кавказа и Крыма уступают Индии, но близки к США, где гуар с успехом выращивают в южных штатах. Оптимальным сроком сева гуара становится переход температуры пахотного слоя почвы через отметку 20 °С. При этом достаточно 350-500 мм осадков за вегетационный период. Следовательно, равнинная часть Ставропольского и Краснодарского края доста-

точно обеспечена естественной влагой, чтобы выращивать гуар; в Крыму и в Ростовской области целесообразно проводить дополнительное орошение (34, 35). Надо заметить, что в Индии, где гуар на зерно возделывают в основном на неполивных землях северо-запада страны, на территории пустыни Тар, сорта, предназначенные для продовольственного потребления в качестве овощной культуры, выращивают в южных штатах только на поливе (36).

Первые посевы гуара в Краснодарском крае и Ростовской области появились в 2011–2014 годах. Максимальная урожайность семян достигала 24 ц/га. Физиологическая зрелость семян наступала через 100–130 сут после всходов (9, 34). Критичными для успешного культивирования гуара оказались даты своевременного посева и уборки.

Для поиска адаптированных к условиям РФ образцов в Институте генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова в течение ряда лет осуществлялось эколого-географическое испытание образцов гуара в четырех географических точках, где находятся опытные станции: Краснодарский край (г. Крымск и пос. Гулькевичи) и Нижнее Поволжье (г. Волгоград и г. Астрахань) (11). Была проведена оценка выхода камеди и ее вязкости у образцов, выращенных в этих регионах. Доказано, что выход камеди из семян гуара обусловлен не только генетическими факторами, но находится под воздействием внешних условий. При этом качество камеди, полученной из отечественных семян, отвечает необходимым требованиям (11, 29).

По мере выявления наиболее адаптированных к условиям РФ генотипов активизировалась селекция отечественных сортов гуара, начатая в 2011–2014 годах селекционерами М.И. Волошиным и З.С. Виноградовым. В ВИР была разработана методика оценки сортов гуара на отличимость, однородность и стабильность для Государственной комиссии РФ по сортоиспытанию при приемке сортов (37). В 2018–2019 годах Государственный реестр селекционных достижений пополнился сортами отечественной селекции, в том числе созданными с участием сотрудников ВИР: Вавиловский 130, ВИР 1, Каспиец, Находка (38). Это весомый вклад в растениеводство страны, если учесть, что в Государственном реестре селекционных достижений РФ всего 10 районированных сортов (табл. 2).

## 2. Характеристика сортов гуара *Cyatopsis tetragonoloba* (L.) Taub, включенных в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию

Сорт	1	2	3	4	5	6	7
Джалд	12,5	–	120	–	Нет	2014	West Texas Group
Вавиловский 130	28,5	32,0	120	Ветвистый	Да	2018	ФГБНУ ВИР им. Вавилова
ВИР 1	29,0	41,0	109	Одностебельный	Да	2019	ФГБНУ ВИР им. Вавилова
Находка	27,0	–	115	Маловетвистый	Да	2019	ФГБНУ ВИР им. Вавилова
Каспиец	27,0	37,1	110	Ветвистый	Нет	2019	ФГБНУ ВИР им. Вавилова
Кубанский	26,0	32,0	120	Ветвистый	Да	2018	ООО «Агроальянс», ООО «Ника-Петротэк»
Кубанский юбилейный	25,5	45,0	120	Ветвистый	Да	2018	ООО «Агроальянс», ООО «Ника-Петротэк»
Синус	28,5	33,8	115	Ветвистый	Да	2018	Частные лица
Вектор	23,5	32,7	120	Одностебельный	Да	2018	Частные лица
Победа	25,5	40,4	102	Одностебельный	Нет	2020	Частное лицо

Примечание. 1 — заявленная урожайность семян, ц/га; 2 — заявленное содержание камеди, %; 3 — вегетационный период, сут; 4 — тип ветвления; 5 — опушение; 6 — год включения в реестр; 7 — оригинал. Прочерки означают, что данные отсутствуют.

Селекционному улучшению культуры должен способствовать значительный полиморфизм признаков, характерный для вида. Многократно отмечены межсортовые различия по продолжительности вегетационного периода, высоте растений, их опушенности, числу и форме листьев, ветвей,

бобов в кисти, кистей и бобов на растении, сухой биомассе и массе семян, форме и размеру семян, длине корней, размеру боба (12, 22, 33, 39, 41).

Следует заметить, что возросший в последние годы спрос на гуар привел к его интродукции в целый ряд стран — Италию, Испанию, Португалию, Китай, где началось интенсивное изучение культуры.

**Методы селекции гуара.** Как и многие однолетние бобовые, гуар относится к самоопылителям, процент естественного перекрестного опыления несуществен — от 0,3 до 4,4 %. В неконтролируемых условиях максимальное переопыление достигало 9 %, чем можно пренебречь при поддержании генетической целостности селекционных линий и сортов (42).

Аналогично некоторым бобовым (сое, фасоли, арахису и др.), гуару свойственна бутонная автогамия — самоопыление в закрытом цветке. Цветок гуара нежный, с мелким рыльцем, тугой тычиночно-пестичной колонкой (43), поэтому техника гибридизации гуара очень сложна, доля удачно проведенных скрещиваний с кастрацией составляет около 4 % (44). Был разработан оригинальный способ гибридизации гуара *in vivo* — с помощью манипуляций с пестиком цветка, когда пыльцевые зерна внедрялись непосредственно в ткани нижней части столбика или завязи через проделанные микроотверстия. Метод разрабатывался для получения межвидового гибрида *C. tetragonoloba* × *C. serrata* в попытке передать гены скороспелости от дикого родственного вида культивируемому. Было получено одно растение межвидового гибрида. Способ гибридизации оказался действенным и для внутривидовой гибридизации растений гуара, но широко, по-видимому, не практикуется (45).

Для расширения генетической основы культуры проводили работы по химическому и физическому мутагенезу гуара, однако новых хозяйственно полезных признаков получено не было (46).

Ввиду сложностей с гибридизацией, основной метод селекции гуара в настоящее время — индивидуальный отбор ценных генотипов (43).

Работы по геномике и транскриптомике гуара начали развиваться только в XXI столетии. Размер генома гуара пока определен по количеству ДНК, и сведения разноречивы. Несколько типов молекулярных маркеров были идентифицированы в гуаре: RAPD (random amplified polymorphic DNA), AFLP (amplified fragment length polymorphism), SSR (simple sequence repeats), SNP (single-nucleotide polymorphism) (7), SCAR (sequence characterized amplified region) (47). С помощью AFLP маркеров изучали ряд агрономических селекционно значимых признаков: число семян в бобе и бобов на растении, характер роста ((48). SSR использовали для изучения генетического разнообразия (49). Выделены SNP, которые могут быть эффективны в отношении признака, определяющего высокую семенную продуктивность гуара, — числа вызревших бобов на растении (50). Однако число полученных маркеров для генома гуара все еще значительно меньше, чем у других бобовых с секвенированными геномами, и пока недостаточно для селекционных программ нового поколения.

Недавно осуществленное секвенирование транскриптома позволило идентифицировать гены, вовлеченные в биологические процессы, молекулярные функции, биосинтез галактоманнана, клеточные функции, пути толерантности к стрессорам (51). Для развития молекулярных методов селекции, понимания путей метаболизма у гуара и дальнейшего развития маркеропосредованной селекции предлагается широко использовать платформу секвенирования нового поколения (47, 52).

Посредством РНК-секвенирования изучали и процесс синтеза галактоманна в развивающихся семенах гуара. Для выявления генов, задействованных в синтезе, РНК извлекали отдельно из зародыша и эндосперма семени спустя 30 и 40 сут после цветения. В результате транскриптомного секвенирования РНК эндосперма гуара на 30-е и 40-е сут было идентифицировано 2535 и 2724 генов со специфической экспрессией в эндосперме. Из них по степени экспрессии выделились один ген маннансинтазы (Unigene5327), три гена галактозилтрансферазы (Unigene7196, Unigene23466, Unigene8081) (UniGene database, NCBI), а также четыре гена, которые могут быть задействованы в синтезе галактоманна гуара. По мнению авторов, эта информация будет полезна для геномного редактирования культуры (53).

Приоритетные признаки для улучшения культуры гуара в условиях РФ. В генофонде гуара, как у многих зернобобовых культур, существует дифференциация на кормовые, зерновые и овощные сорта. Источником гуаровой камеди служат зерновые сорта. Можно заметить, что в Индии, крупнейшем экспортере гуаровой камеди на мировой рынок, до недавнего времени на зерно возделывали универсальные сорта зернокормового типа, но в последние десятилетия ведется направленная селекция на семенную продуктивность и выход камеди (12).

Показано, что независимо от количества галактоманна в семенах различных генотипов, урожайность семян гораздо больше влияет на его выход с посевной площади: при увеличении урожая семян также увеличивается выход белка и галактоманна с 1 га, в то время как повышение только содержания галактоманна в семени не приводит к общему повышению выхода галактоманна (54). Ключевым признаком, определяющим количественный выход галактоманна с растения, признано число бобов на растении (54, 55). Поэтому поиск в генофонде генотипов с максимальным выходом камеди из семени — необязательный этап отбора исходного материала для селекции. Между тем, к признанию числа бобов на растении самым эффективным селекционным критерием, по которому следует вести отбор, приходит все больше исследователей (54-57). Для РФ этот критерий следует скорректировать и учитывать число вызревших бобов на растении, поскольку не созревшие, зеленые бобы свой вклад в урожай не вносят.

При интродукции гуара в страны умеренных широт становится актуальной селекция на скороспелость, так как период вегетации культуры в условиях тропиков и субтропиков слишком растянут. Сравнительное изучение продолжительности вегетационного периода у 68 генотипов гуара разного географического происхождения в условиях Южной Италии показало, что этот признак варьировал от 155-163 сут у самых скороспелых сортов, до 175-184 сут у самых позднеспелых. В этих условиях растения гуара заканчивали вегетацию с середины октября до начала ноября, попадая под осенние дожди, что негативно сказывалось на качестве урожая (56). Гуар имеет индетерминантный тип роста, и растения продолжают цвести и завязывать бобы до критического понижения температур или старения (48). При этом цветки и зеленые бобы, образующиеся на побегах второго порядка у растений гуара ветвистого типа, значительно затрудняют уборку созревших бобов.

Всем российским сортам для вызревания семян нужен вегетационный период более 100 сут. Поэтому скороспелость становится ключевым признаком для сравнительно северных регионов, более важным, чем селекция высокопродуктивных сортов, поскольку для извлечения камеди исполь-

зуются физиологически спелые семена.

Серьезная проблема при выращивании гуара на зерно при неблагоприятных для культуры условиях — неполное созревание семян, что проявляется, в частности, в несформированной семенной кожуре. В период осеннего понижения температуры и повышенной влажности семена в бобах чернеют (рис. 2). При этом можно наблюдать различные соотношения вызревших, с нормально сформированной семенной кожурой и со свойственной генотипу ее окраской, и темноокрашенных незрелых семян в урожае. С такой проблемой впервые столкнулись в США. Было доказано, что черная семенная кожура семян вызвана внешними факторами (58). Позднее установлено, что семена с почерневшей семенной кожурой имеют полноценный эндосперм с обычным содержанием галактоманнана, лабораторная всхожесть почерневших и светлых семян оказалась близка (59). Однако поскольку семенная кожура у почерневших семян не сформирована должным образом, они быстрее вбирают влагу и не могут храниться продолжительное время.



**Рис. 2.** Семена гуара *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub сорта Кубанский разного срока сева: а — нормальная окраска семян при оптимальном сроке посева и своевременной уборке, б — невызревшие семена с почерневшей семенной кожурой как результат позднего посева (Кубанская опытная станция ВИР) (2018 год, фото Е.А. Дзюбенко).

В России явление почернения семян наблюдалось при выращивании гуара в Краснодарском крае в ряде районов, в том числе на Кубанской опытной станции ВИР при поздней уборке (см. рис. 2). При наличии черных семян в производственных посевах рекомендовано проводить сортировку семенного материала на оптических сепараторах (60). Во избежание этой проблемы в производственных посевах следует

использовать самые скороспелые сорта.

Скороспелость в большой степени определяется фотопериодической чувствительностью. Гуар — растение короткого фотопериода. Критическая продолжительность фотопериода у разных сортов гуара варьирует от 12-13 до 13-15 ч, при более длинном световом дне растения переходят к цветению с сильной задержкой, хотя встречаются и генотипы, слабо чувствительные к фотопериоду (61). В Краснодарском крае и Ростовской области, где находятся основные посевы гуара в РФ, продолжительность светового дня в мае-июне варьирует в пределах 14,3-15,6 ч.

В коллекции гуара ВИР выявлен полиморфизм вида по реакции на фотопериод и найдены контрастные по этому признаку генотипы. У них изучены метаболомные и транскриптомные профили, позволившие определить последовательности новых генов и аллельных вариантов генов, отвечающих за фотопериодическую реакцию, сроки начала цветения, продолжительность вегетационного периода (62). Определены ключевые метаболиты, связанные с началом цветения у гуара (63). Осуществлен транскриптомно-метаболомный анализ локусов раннего цветения (64), определены рано и поздно цветущие генотипы, предложена модель генной регуляции цветения (62). Главный результат этого исследования для селекции заключается в вы-

явлении в генофонде гуара материала для создания скороспелых сортов.

Скороспелость гуара связана также с архитектурой растений. Генофонд гуара дифференцирован на два морфотипа — ветвящийся и одностебельный (рис. 3). При этом у ветвящихся форм различают типы ветвления (см. рис. 3, б, в), которые подробно описаны при изучении образцов американской коллекции (65). Для сортов каждого из морфотипов установлены ориентировочные диапазоны густоты стояния растений с целью получения максимального урожая семян. В условиях Краснодарского края это 200-250 тыс. ветвящихся и 250-300 тыс. одностебельных растений на 1 га. Урожайность ветвистых форм в конечном итоге несколько выше, чем одностебельных. Однако одностебельный гуар при плотном расположении рядков имеет конкурентные преимущества в борьбе с сорняками (66). Кроме того, бобы на одностебельных растениях созревают более равномерно, растения можно убирать раньше, что в условиях относительно короткого лета делает одностебельные и малостебельные формы гуара предпочтительнее. Селекционеры Италии, Индии и Португалии в последнее время все большее внимание обращают на скороспелые одностебельные линии (41, 67, 68). Из российских сортов два сорта селекции ВИР — ВИР 1 и Находка относятся к одностебельному и малостебельному типу (см. рис. 3, а, б; рис. 4, а, б), для сортов Вектор и Победа также характерен один стебель (см. табл. 2).

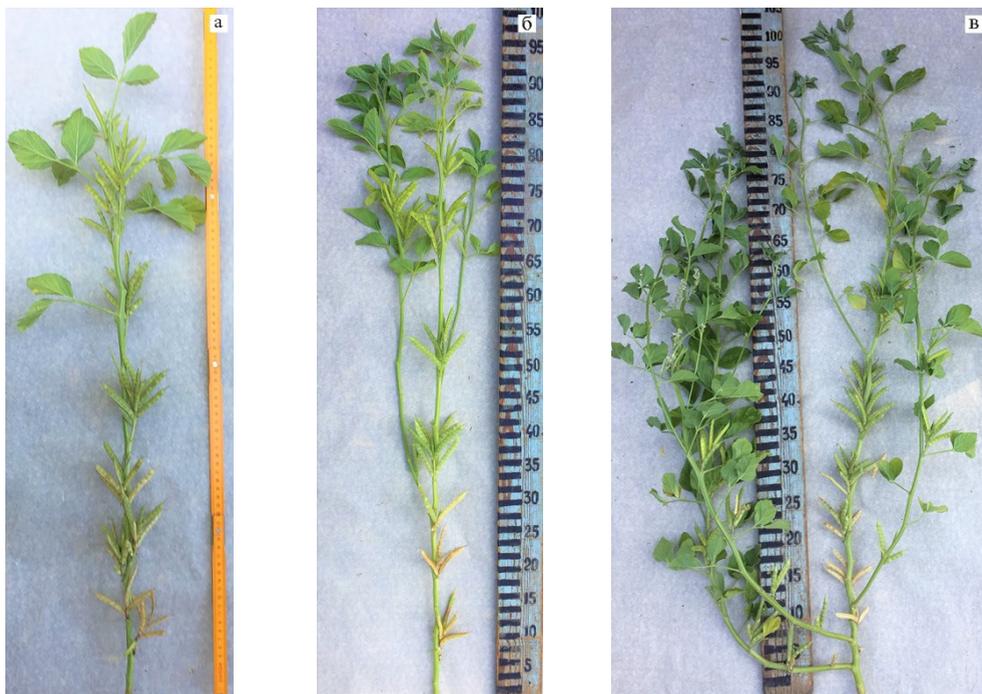


Рис. 3. Образцы растений гуара *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub из коллекции ВИР (ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург): а — одностебельное, б — малостебельное, в — ветвистое (Кубанская опытная станция ВИР) (2018 год, фото Е.А. Дзюбенко).

В ВИР при создании сорта Каспиец из сортов американской селекции были выделены формы с детерминантным типом роста, который благоприятствует скороспелости (69) (см. рис. 4, в). В условиях США детерминантные сорта созревают за 60-90 сут, индетерминантные — за 120-150 сут (70).

Ряд продуктивных ветвистых сортов гуара имеет низкое расположение первой кисти, от 1 до 4 см от поверхности земли, что влечет потери при механизированной уборке. В связи с этим ставится задача выведения сортов с более высоким расположением нижнего плодового узла (48, 68). В загущенных посевах одностебельных сортов, например сорта Вектор, в условиях конкуренции растений первый плодовой узел закладывается выше (66). При создании отечественных сортов, в частности ВИР 1 и Находка, отбор исходного материала из коллекции ВИР велся в том числе по максимально высокому расположению первого плодового узла.



**Рис. 4.** Одностебельный морфотип гуара *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub в поле (образцы из коллекции ВИР, ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург): а — к-52779 из Индии (Кубанская опытная станция ВИР), б — к-52589, сорт Кубанский 1Б (Астраханская опытная станция ВИР), в — к-54214, сорт Каспиец, ветвистый морфотип с детерминантным типом роста стебля (2018 год, фото Е.А. Дзюбенко).

Растения-интродуценты неизбежно сталкиваются с новыми для них болезнями и вредителями. Фитосанитарный мониторинг эколого-географических посевов коллекции гуара ВИР в четырех географических точках выявил основной круг вредителей гуара в РФ. Среди насекомых доминировали представители семейства *Aphididae* (настоящие тли): тля люцерновая *Aphis craccivora* (Koch) и тля бобовая *A. fabae* Scopoli (13). Тли наиболее вредоносны, поскольку переносят вирусные инфекции. После массового размножения тли на экологических посевах наблюдалось сильное очаговое вирусное поражение растений, пожелтение и мраморность листьев. После инсектицидных обработок в августе на посевах выявили лишь единичные колонии тлей (13, 14).

Среди грибных заболеваний в подавляющем большинстве случаев отмечали альтернариоз, вызванный преимущественно видом *Alternaria tenuissima* (Nees & T. Nees: Fr.) Wiltshire (14). Анализ ризосферной патогенной микофлоры показал доминирование грибов из родов *Verticillium* Nees и *Fusarium* Link. Самое вредоносное заболевание гуара, в том числе в РФ, это бактериоз (возбудитель *Xanthomonas cyamopsidis*). Отмечали массовое усыха-

ние и гибель растений у ряда образцов. Заболевание, передающееся через семена, может привести к гибели растений на всех стадиях роста и развития. Симптомы включают большие угловые некротические поражения на кончиках листьев, которые вызывают дефолиацию и черные прожилки на стеблях. Это потенциально представляет наибольшую опасность для гуара. Были выявлены устойчивые растения, что предполагает возможность вести отбор отдельных устойчивых генотипов (71).

Показано дифференциальное взаимодействие паразита и хозяина. Следовательно, для предотвращения эпифитотий следует выращивать сорта, защищенные нетождественными генами устойчивости, и вовлекать в селекцию максимально возможное число генетически разнородных образцов.

Наследуемость и связи признаков продуктивности гуара. Изучена наследуемость большинства признаков продуктивности, что дало возможность сделать прогноз успешности селекции по ним. Применяли разные методы анализа данных, в том числе анализ коэффициентов пути (path coefficients), ANOVA и др. Установлено аддитивное действие генов следующих признаков: число ветвей на растение на 90-е сут после посева, число кистей на растение, длина боба, масса боба, масса бобов на растении, семенная продуктивность растения, содержание камеди в эндосперме семени. Сделан вывод, что генетическое улучшение и отбор по этим признакам будут результативны. Низкая генетическая аддитивная вариация отмечалась по таким признакам, как содержание белка и число семян в бобе, то есть отбор по этим признакам может быть неэффективен (72-74). Низкая наследуемость и высокое влияние среды на признак число семян в бобе, а также высота растений на 90-е сут показаны и в других исследованиях (41, 75, 76). Признаки число семян на боб, число бобов на растение, число бобов на кисть, число кистей на растение, число суток до 50 % цветения число суток до созревания имеют значимые положительные корреляции с семенной продуктивностью (68).

В опытах на 43 образцах гуара, проведенных в индийском штате Карнатака, определялась аддитивная генетическая вариация (GAM) и наследуемость признаков, составляющих урожайность гуара. Коэффициент вариации указывает, какая степень изменчивости присутствует в зародышевой плазме по различным признакам, но для прогноза успеха отбора полезны коэффициенты наследуемости. В опыте была отмечена высокая (более > 80 %) наследуемость для признаков число ветвей на растении, тип роста, число суток до начала цветения, число кистей на растении, число бобов на растении, масса 100 семян, содержание камеди в эндосперме (65). Высокая наследуемость признаков число суток до созревания бобов и число бобов на растение установлена и в других работах (41, 75, 76).

При изучении механизма наследования содержания гуаровой камеди обнаружено, что проявление признака находится под контролем аддитивных, доминантных и эпистатических эффектов воздействия генов и модифицируется внешними факторами (77).

Ни в одном из районов возделывании гуара в РФ на его корнях не обнаружено азотфиксирующих клубеньков. Это объясняется отсутствием в почвах бактерий, способных вступать в симбиоз с гуаром. Между тем, инокуляция семян бобовых культур биопрепаратами клубеньковых бактерий обеспечивает интенсивную биологическую азотфиксацию, которая способствует усилению фотосинтеза, увеличению урожайности, содержания белка в семенах и зеленой массе и т.д. (78). На основании этого в число селекционно значимых признаков для бобовых культур был введен еще один —

эффективность взаимодействия с полезными почвенными бактериями (ЭВППМ) (79, 80). Это особенно важно при возделывании бобовых на новых для них территориях, почвы которых не содержат необходимых микросимбионтов. Для успешной интродукции гуара в Россию наряду с вышеописанными мерами улучшения культуры требуется селекция эффективных микросимбионтов с целью создания биопрепаратов.

Ученым из Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ ВНИИСХМ, г. Санкт-Петербург) удалось выявить в ризосфере гуара, выращенного в вегетационном опыте с добавлением почвы из Индии, азотфиксирующие бактерии двух видов — *Bradyrhizobium retamae* и *Ensifer aridi*, которые были охарактеризованы, запатентованы авторами и депонированы в Ведомственной коллекции полезных микроорганизмов сельскохозяйственного назначения (ФГБНУ ВНИИСХМ) (81, 82). Оба штамма показали способность формировать эффективный симбиоз с гуаром и перспективность их дальнейших испытаний в полевых экспериментах с целью создания биопрепаратов для улучшения азотного питания растений.

Таким образом, при селекции отечественных сортов гуара — нового интродукта на территории Российской Федерации набор ключевых признаков, требующих усовершенствования, продиктован главными лимитирующими факторами возделывания этой тропической культуры в новых почвенно-климатических условиях. К ним относятся: недостаток тепло-, а в некоторых местах и влагообеспечения, длинный фотопериод, наличие патогенов, отсутствие в почве азотфиксирующих микросимбионтов. Это определяет поиск в генофонде в качестве исходного материала для селекции гуара форм с пониженной фоточувствительностью, коротким периодом вегетации, устойчивых к определенным и/или комплексу патогенов, а также требует создания и применения комплементарных ризобияльных препаратов. Такой подход будет способствовать получению продуктивных генотипов, успевающих сформировать полноценные семена в условиях сравнительно короткого лета. Главный признак семенной продуктивности гуара — число бобов на растении, которое определяет урожайность и выход камеди как с растения, так и с производственного посева. Лучшим морфотипом для условий России признаны одностебельные и маловетвистые формы, которые обеспечивают равномерное расположение бобов, пригодность к механизированной уборке и скороспелость. Объединение в одном генотипе перечисленных признаков соответствует модели индустриального сорта гуара для условий нашей страны. Созданные отечественные сорта гуара получены методами традиционной селекции, но активное развитие геномных, метаболомных и транскриптомных ресурсов вида позволяет надеяться на то, что в обозримом будущем сорта этой ценной для РФ культуры будут создавать с применением маркер-опосредованной и геномной селекции.

<sup>1</sup>ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44, e-mail: elena.dzyubenko@gmail.com ✉, m.vishnyakova.vir@gmail.com;

<sup>2</sup>ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии, 196608 Россия, г. Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 3, e-mail: v.safronova@rambler.ru

Поступила в редакцию  
23 декабря 2022 года

# IN CONNECTION WITH THE PROSPECTS OF DOMESTIC GUAR GUM PRODUCTION (review)

E.A. Dzyubenko<sup>1</sup>, V.I. Safronova<sup>2</sup>, M.A. Vishnyakova<sup>1</sup> ✉

<sup>1</sup>Federal Research Center Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42-44, str. Bol'shaya Morskaya, St. Petersburg, 190000 Russia, e-mail elena.dzyubenko@gmail.com (✉ corresponding author, m.vishnyakova.vir@gmail.com);

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, 3, sh. Podbel'skogo, St. Petersburg, 196608 Russia, e-mail v.safronova@rambler.ru

ORCID:

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

Vishnyakova M.A. orcid.org/0000-00032808-7745

Safronova V.I. orcid.org/0000-0003-4510-1772

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by Russian Science Foundation, project No. 21-16-00084

Final revision received December 23, 2022

doi: 10.15389/agrobiologia.2023.1.43eng

Accepted January 21, 2023

## Abstract

Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub) is a source of guar gum extracted from the endosperm of this annual legume plant (D. Mugdil et al., 2014; R. Pathak et al., 2015). Guar gum has a wide range of applications as gel-forming agent in gas/oil industry and as emulsifier and thickener of substances in food, cosmetic, textile and paper industries (R.J. Chudzikowski et al., 1971; N.Thombare et al., 2016; A.M.A. Hasan et al., 2018). Guar has moderate drought-resistance, it is tolerant to salinized soils and has low demands to soil fertility (D.J. Undersander et al., 1991; R.K. Bhatt et al., 2017). Domestication of guar took place in India and Pakistan where the plant was used as a forage crop (N. Thombare et al., 2016). These countries are the main manufacturers and exporters of Guar gum in the world market today. Guar was introduced into Russian Federation in terms of import submission. Production batches of conditioned seeds were obtained in some regions of South Federal Part and Lower Volga adjacent area last years. Experimental batches of gum extracted from native seeds have demonstrated that guar gum fits the quality standards (I.V. Kruchina-Bogdanov et al., 2019) and in the nearest future guar gum would be produced in Russia. There is a high demand in industrialized-type guar cultivars, well adapted to diverse local conditions in the Russian Federation. Guar was introduced into culture in the Russian Federation, 4 cultivars among 10 registered in the State Register of Breeding achievements were originated by VIR (Vavilov Institute of Plant Genetic Resources). Gum production depends upon guar yield productivity so the problem of high yield is urgent (A.K. Jukanti et al., 2019). However, in the Russian Federation, the most limiting factor for guar production is high temperature demand of the crop (D.V. Lebed et al., 2017), so precocity becomes a priority feature, which, in turn, is associated with the sensitivity of the plant to the photoperiod. Therefore, it is necessary to search in the gene pool for forms with reduced sensitivity to photoperiod, capable for forming full-fledged seeds in a relatively short summer (S.B. Teplyakova et al., 2019). Being introduced to northern altitudes, guar plants may form blackened seeds in pods in conditions of prolonged vegetative period combined with low night temperatures and extra moisture (T. Hymovitz et al., 1963; D.V. Lebed et al., 2018). Due to this fact it is important to use most early guar varieties in Russia. The question arises about the optimal plant architectonics for the conditions of the Russian Federation, contributing to the formation of high productive agroecosystem (M.I. Voloshin et al., 2019). One-stem and few-branched guar plants are recommended as most early and better adapted to mechanized harvesting, such type of plants fit the model of industrial variety (F. Gresta F. et al., 2018; C.M.G. Reis et al., 2021). Plants with determinated type of growth are also early maturing (E.A. Dzyubenko et al., 2017). Guar, like most annual crops, is self-pollinated (R.E. Stafford et al., 1975), its hybridization is a complicated procedure, and the rate of successful crosses is very low (R.E. Stafford et al., 1980). Main breeding method in guar is selection of outstanding genotypes (A.K. Jukanti et al., 2019). The most effective selection index for breeding for high yield in guar is the number of pods per plant (F. Gresta et al., 2013). The diversity of plant genetic resources and the evolving genomic resources allow the use of traditional, biotechnological and molecular approaches in guar breeding (S. Kumar et al., 2017). Some types of molecular markers are identified but not too much compared to other legume cultures (W. Ravelombola et al., 2021). It is also necessary to be ready to resist to the effects of biotic stressors — diseases and pests, it is urgent to create resistant varieties with a broad genetic basis (E.E. Radchenko et al., 2018). The whole range of these issues is outlined in this review as the objectives that domestic guar breeders face when creating gum-forming varieties. Prospects of marker-assisted selection and genomic breeding are under discussion (S. Kumar et al., 2020; E. Gigoreva et al., 2021; S. Pareek et al., 2022). The created domestic varieties of guar were obtained by traditional breeding, but the active development of genomic, metabolomic and transcriptomic resources of the species allow us to hope for a quick practical application of breakthrough methods of crop breeding that will increase crop yield and adaptation in the conditions of the Russian Federation.

Keywords: guar, guar gum, introduction, breeding, seed yield, early maturation.

## REFERENCES

1. Shcherbukhin V.D., Anulov O.V. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 1999, 35(3): 257-274 (in Russ.).
2. Chudzikowski R.J. Guar gum and its applications. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* 22, 1971: 43-60.
3. Mudgil D., Barak, S., Khatkar B.S. Guar gum: processing, properties and food applications — a review. *Journal of Food Science and Technology*, 2014, 51: 409-418 (doi: 10.1007/s13197-011-0522-x).
4. Hasan A.M.A., Abdel-Raouf M.E. Applications of guar gum and its derivatives in petroleum industry: a review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 2018, 27(4): 1043-1050 (doi: 10.1016/j.ejpe.2018.03.005).
5. Pathak R. Clusterbean gum and by-product. In: *Clusterbean: physiology, genetics and cultivation*. Springer, Singapore, 2015: 33-60 (doi: 10.1007/978-981-287-907-3\_3).
6. Thombare N., Jha U., Mishra S., Siddiqui M.Z. Guar gum as a promising starting material for diverse applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2016, 88: 361-372 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001).
7. Ravelombola W., Manley A., Adams C., Trostle C., Ale S., Shi A., Cason J. Genetic and genomic resources in guar: a review. *Euphytica*, 2021, 217(11): 119 (doi: 10.1007/s10681-021-02929-2).
8. Europe guar market — analysis, trends, and forecasts (2023-2028). Available: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/europe-guar-market>. No date.
9. Bulyntsev S.V., Val'yanikova T.I., Silaeva O.I., Kopot' E.I., Pimonov K.I. *Materialy Vserossiiskoy konferentsii «Innovatsii v tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur»* [Proc. of Russian Conf. "Innovative technologies for crop cultivation"]. Persianovka, 2017: 167-172 (in Russ.).
10. Kantemirova E.N., Shaukharov R.A. *Sbornik tezisev Mezhdunarodnoy konferentsii «125 let prikladnoy botaniki v Rossii»* [Abstracts of the International Conference "125 Years of Applied Botany in Russia"]. St. Petersburg, 2019: 139 (doi: 10.30901/978-5-907145-39-9) (in Russ.).
11. Kruchina-Bogdanov I.V., Miroshnichenko E.V., Shaukharov R.A., Kantemirova E.N., Golovina M.A., Abdullaev K.M., Balashov A.V., Rusinova E.V., Rusinov P.G., Potokina E.K. 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).
12. Dzyubenko E.A. *Vavilovia*, 2021, 4(3): 16-39 (doi: 10.30901/2658-3860-2021-3-16-39) (in Russ.).
13. Radchenko E.E., Sokolova D.V. Resistance of guar *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. to harmful organisms (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2018, 53(5): 897-906 (doi: 10.15389/agrobiology.2018.5.897eng).
14. Radchenko E.E., Abdulaev R.A., Alpat'eva N.V., Putina O.V., Gasich E.L. *Sbornik tezisev Mezhdunarodnoy konferentsii «125 let prikladnoy botaniki v Rossii»* [Abstracts of the International Conference "125 Years of Applied Botany in Russia"]. St. Petersburg, 2019: 179 (doi: 10.30901/978-5-907145-39-9) (in Russ.).
15. Tripathy S., Das M.S. Guar gum: present status and applications. *Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovations* 2013, 2(4): 24-28 (doi: 10.7897/2277-4572.02447).
16. Srivastava M., Kapoor V.P. Seed galactomannans: an overview. *Chemistry & Biodiversity*, 2005, 2(3): 295-317 (doi: 10.1002/cbdv.200590013).
17. Hegnauer R. Über das Endosperm der Leguminosen. *Pharmazeutische Zentralhalle für Deutschland*, 1957, 9(4): 141-143 (in German).
18. Murwan K.S., Abdalla A.H., Nouri S.H. Quality assessment of guar gum (endosperm) of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*). *ISCA Journal of Biological Science*, 2012, 1(1): 67-70.
19. Maier H., Anderson M., Karl C., Magnuson K., Whistler R.L. Chapter 8 — Guar, locust bean, tara, and fenugreek gums. In: *Industrial gums (Third edition): Polysaccharides and their derivatives*. Cambridge, Academic Press, 1993: 181-226 (doi: 10.1016/B978-0-08-092654-4.50012-7).
20. Mirhosseini H., Amid B.T. A review study on chemical composition and molecular structure of newly plant gum exudates and seed gums. *Food Research International*, 2012, 46(1): 387-398 (doi: 10.1016/j.foodres.2011.11.017).
21. Dabas B.S., Mital S.P., Arunachalam V. An evaluation of germplasm accessions in Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 1982, 42: 56-59.
22. Dwivedi N., Bhandari D.C., Bhatnagar N., Dabas B.S. Characterizing cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub] germplasm for yield components and quality traits. *Annals of Arid Zone*, 1999, 38(2): 151-156.
23. Naik C.S.R., Ankaiah R., Sudhakar P., Reddy D.T., Murthy V.R., Spandana V., Jatothu J. Variation in the protein and galactomannan content in guar seeds of different genotypes. *Plant Archives*, 2013, 13(1): 247-252.

24. Wadhwa N., Joshi U.N. Galactomannan content and key enzymes of its metabolism in seeds of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *Legume Research*, 2017, 40: 462-469 (doi: 10.18805/lr.v0iOF.10758).
25. Zandi P., Basu S., Cetzal-Ix. W., Kordrostami M., Chalaras S., Khatibai L. Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.): an important medicinal and aromatic crop. In: *Active ingredients from aromatic and medicinal plants*. H.A. El-Shemy (ed.). In Tech, 2017: 217-223 (doi: 10.5772/66506).
26. Rigano L., Deola M., Zaccarioto F., Colleoni T., Lionetti N. A new gelling agent and rheology modifier in cosmetics: *Caesalpinia spinosa* Gum. *Cosmetics*, 2019, 6(2): 34 (doi: 10.3390/cosmetics6020034).
27. Batal H.E., Hasib A., Ouattmane A., Boulli A., Dehbi F., Jaouad A. Yield and composition of carob bean gum produced from different Moroccan populations of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *Journal of Materials and Environmental Science*, 2013, 4: 309-314.
28. Anulov O.V., Ponomarenko S.F., Egorov A.V., Shcherbukhin V.D. *Rastitel'nye resursy*, 2003, 39(1): 80-82 (in Russ.).
29. Dzyubenko N.I., Dzyubenko E.A., Potokina E.A., Bulyntsev S.V. Clusterbeans *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. — properties, use, plant genetic resources and expected introduction in Russia (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2017, 52(6): 1116-1128 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.6.1116rus).
30. Khan S.D., Jahan I., Akhtar L.H., Minhas R. Seed mass variation in seed lots of fifteen gerplasms of guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *International Journal of Biology and Biotechnology*, 2018, 15(4): 711-720.
31. Whistler R.L., Hymowitz T. *Guar: agronomy, production, industrial use, and nutrition*. Purdue University Press, 1979.
32. Bhatt R.K., Jukanti A., Roy M.M. Cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.], an important industrial arid legume: a review. *Legume Research*, 2017, (40): 207-214 (doi: 10.18805/lr.v0iOF.11188).
33. Sortino O., Gresta F. Growth and yield performances of five guar cultivars in a Mediterranean environment. *Italian Journal of Agronomy*, 2007, 4: 359-364 (doi: 10.4081/ija.2007.359).
34. Lebed' D.V., Kostenkova E.V., Voloshin M.I. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki*, 2017, 1(9): 53-64 (in Russ.).
35. Startsev V.I., Livanskaya G.A., Kulikov M.A. *Nauchnyy zhurnal VRGAZU*, 2017, 24(29): 11-15 (in Russ.).
36. Kumar V., Ram R.B., Yadav R.K. Genetic diversity in cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] for morphological characters. *Indian Journal of Science and Technology*, 2014, 7(8): 1144-1148 (doi: 10.17485/ijst/2014/v7i8.17).
37. *Ofitsial'nyy byulleten'*. FGBU «Gosudarstvennaya komissii Rossiyskoy Federatsii po ispytaniyu i okhrane selektsionnykh dostizheniy» [Official bulletin. FSBI State Commission of the Russian Federation for Testing and Protection of Breeding Achievements]. Moscow, 2017, 10(230): 686-694 (in Russ.).
38. *Gosudarstvennyy reestr selektsionnykh dostizheniy, dopushchennykh k ispol'zovaniyu. Tom 1. «Sorta rasteniy» (ofitsial'noe izdanie)* [State register of selection achievements approved for use. V. 1. "Plant Varieties" (official publication)]. Moscow, 2022 (in Russ.).
39. Stafford R.E., Barker G.L. Heritability and interrelationships of pod length and seed weight in guar. *Plant Breeding*, 2006, 103(1): 47-53 (doi: 10.1111/j.1439-0523.1989.tb00350.x).
40. Singh R., Singh P., Jaiswal A., Kumar Y. Heritability and genetic advance for yield and related traits in [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *JNKVV Research Journal*, 2010, 44(2): 127-130.
41. Gresta F., Avola G., Cannavò S., Santonoceto C. Morphological, biological, productive and qualitative characterization of 68 guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes. *Industrial Crops and Products*, 2018, 114: 98-107 (doi: 10.1016/j.indcrop.2018.01.070).
42. Stafford R.E., Lewis C.R. Natural crossing in guar *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. *Crop Science*, 1975, 15(6): 876-877 (doi: 10.2135/cropsci1975.0011183X001500060042x).
43. Jukanti A.K., Pathak R., Mushyam C. Cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] breeding. In: *Advances in plant breeding strategies: legumes*. J.M. Al-Khayri, S.M. Jain, D.V. Johnson (eds.). Springer, Cham, 2019: 113-149 (doi: 10.1007/978-3-030-23400-3\_4).
44. Stafford R.E., Hymowitz T. Guar. In: *Hybridization of crop plants*. American Society of Agronomy-Crop Science Society of America, Madison, 1980: 381-392.
45. Ahlawat A., Pahuja S.K., Dhingra H.R. Overcoming interspecific hybridization barriers in *Cyamopsis* species. *International Journal of Biotechnology and Bioengineering Research*, 2013, 4(3): 181-190.
46. Arora R.N., Pahuja S.K. Mutagenesis in guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *Plant Mutation Reports*, 2008, 2(1): 7-9.
47. Kumar S., Modi A.R., Parekh M.J., Mahla H.R., Sharma R., Fougata R.S., Yadav D., Yadav N.R., Patil G.B. Role of conventional and biotechnological approaches for genetic improvement of cluster bean. *Industrial Crops and Products*, 2017, 97: 639-648 (doi: 10.1016/j.indcrop.2017.01.008).
48. Gresta F., Mercati F., Santonoceto C., Abenavoli M.R., Ceravolo G., Araniti F., Anastasi U.,

- Sunseri F. Morphoagronomic and AFLP characterization to explore guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) genotypes for the Mediterranean environment. *Industrial Crops Products*, 2016, 86: 23-30.
49. Pareek S., Jaiswal P., Shrivastava D. Guar genes to genome and meta-analysis of SSR markers in sequencing studies. *Genetic Resources Crop Evolution*, 2022, 69: 2279-2290 (doi: 10.1007/s10722-022-01420-8).
  50. Grigoreva E., Barbitoff Y., Changalidi. A., Karzhaev D., Volkov V., Shadrina V., Safronycheva E., Ben C., Gentzbittel L., Potokina E.K. Development of SNP set for the marker-assisted selection of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) based on a custom reference genome assembly. *Plants*, 2021, 10(10): 2063 (doi: 10.3390/plants10102063).
  51. Chaudhury A., Kaila T., Gaikwad K. Elucidation of galactomannan biosynthesis pathway genes through transcriptome sequencing of seeds collected at different developmental stages of commercially important indian varieties of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Sci. Rep.*, 2019, 9: 11539 (doi: 10.1038/s41598-019-48072-w).
  52. Kumar S., Palve A.S., Patel S.K., Selvanayagam S., Sharma R., Rathore A. Development of genomic microsatellite markers in cluster bean using next generation DNA sequencing and their utility in diversity analysis. *Current Plant Biology*, 2020, 21: 100134 (doi: 10.1016/j.cpb.2019.100134).
  53. Hu H., Wang H., Zhang Y., Kan B., Ding Y., Huang J. Characterization of genes in guar gum biosynthesis based on quantitative RNA-sequencing in guar bean (*Cyamopsis tetragonoloba*). *Scientific Reports*, 2019, 9: 10991 (doi: 10.1038/s41598-019-47518-5).
  54. Gresta F., Sortino O., Santonoceto C., Issi L., Formantici C., Galante Y.M. Effects of sowing times on seed yield, protein and galactomannans content of four varieties of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) in a Mediterranean environment. *Industrial Crops and Products*, 2013, 41(1): 46-52 (doi: 10.1016/j.indcrop.2012.04.007).
  55. Manivannan A., Anandakumar C.R., Ushakumari R., Dahiya G.S. Genetic diversity of guar genotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) based on agro-morphological traits. *Bangladesh Journal of Botany*, 2015, 44(1): 59-65 (doi: 10.3329/bjb.v44i1.22724).
  56. 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).
  57. Meftahizade 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).
  58. Hymovitz T., Matlock R.S. Guar: seed, plant and population studies. *Technical Bulletin (Oklahoma Agricultural Experiment Station)*, 1964, V108.
  59. Liu W., Peffley E.B., Powell R.J., Auld D.L., Hou A. Association of seedcoat color with seed water uptake, germination, and seed components in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub). *Journal of Arid Environments*, 2007, 70(1): 9-38 (doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.12.011).
  60. Lebed' D.V., Voloshin M.I., Bepalov E.A., Kostenkova E.V. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki*, 2018, 2(14): 54-63 (doi: 10.25637/TVAN.2018.02.05) (in Russ.).
  61. Lubbers E.L. Characterization and inheritance of photoperiodism in guar, *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. Univ. of Arizona, 1987.
  62. Teplyakova S.B., Volkov V.A., Dzyubenko E.A., Potokina E.K. Variability of photoperiod response in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) genotypes of different geographic origin. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 2019, 23(6): 730-737 (doi: 10.18699/VJ19.547).
  63. Arkhimandritova S., Shavarda A., Potokina E. Key metabolites associated with the onset of flowering of guar genotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub). *BMC Plant Biology*, 2020, 20(Suppl 1): 291 (doi: 10.1186/s12870-020-02498-x).
  64. Grigoreva E., Tkachenko A., Arkhimandritova S., Beatovic A., Ulianich P., Volkov V., Karzhaev D., Ben C., Gentzbittel L., Potokina E.K. Identification of key metabolic pathways and biomarkers underlying flowering time of guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) via integrated transcriptome-metabolome analysis. *Genes*, 2021, 12(7): 952 (doi: 10.3390/genes12070952).
  65. Morris J.B. Morphological and reproductive characterization of guar (*Syamopsis tetragonoloba*) genetic resources regenerated in Georgia, USA. *Genetic Resources Crop Evolution*, 2010, 57: 985-993 (doi: 10.1007/s10722-010-9538-8).
  66. Voloshin M.I., Bepalov E.A. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki*, 2019, 2(18): 15-22 (in Russ.).
  67. Vir O., Singh A.K. Variability and correlation analysis in the germplasm of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] in hyper hot arid climate of Western India. *Legume Research*, 2015, 38(1): 37-42 (doi: 10.5958/0976-0571.2015.00006.5).
  68. Reis C.M.G., Almeida C.M., Peças L.F.V., Almeida J.P.F. Yield evaluation of guar genotypes (*Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub.) selected for high-density planting and mechanical harvesting. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2021, 27(5): 926-932.
  69. Dzyubenko E.A., Dzyubenko N.I. *Tezisy dokladov IV Vavilovskoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Idei N.I. Vavilova v sovremennom mire»* [Abstracts of the IV Vavilov International Conference "Ideas of N.I. Vavilov in the modern world"]. St. Petersburg, 2017: 118 (in Russ.).

70. Undersander D.J., Putnam D.H., Kaminski A.R., Kelling K.A., Doll J.D., Oplinger E.S., Gunsolus J.L. Guar. *Alternative field crops manual*. University of Wisconsin, 1991. Available: <https://hort.purdue.edu/newcrop/afcm/guar.html>. No date.
71. Radchenko E.E. Incidence of insect pests and diseases of guar in Krasnodar area of Russia. In: *International congress on oil and protein crops*. 20-24 mai 2018, Chişinău. Chişinău, 2018: 158.
72. Pathak R., Singh M., Henry A. Genetic diversity and interrelationship among clusterbean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] genotype for qualitative traits. *Indian Journal of Agricultural Science*, 2011, 81(5): 402-406.
73. Santhosha G.R., Evoor Shashikanth E., Gasti V.D., Prabhuling G., Rathod V.D, Mulge R. Genetic variability studies in cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] for growth, yield and quality parameters. *Legume Research*, 2017, 40(2): 232-236 (doi: 10.18805/lr.v0i0.7296).
74. Deepashree G., Gasti D., Raut N., Chittapur R., Reddi S.G., Kustagi G. Genetic variability studies in cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] for growth, yield and quality parameters. *The Pharma Innovation Journal*, 2021, 10(4): 666-670 (doi: 10.22271/tpi.2021.v10.i4j.6033).
75. Prakash R.K.R., Prasanthi L., Sekhar M.R. Genetic variability studies for seed yield, physiological and quality attributes in guar. *The Asian and Australasian Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2008, 2: 36-38.
76. Manivannan A., Anandakumar C.R. Genetic variability, character association and path analysis in cluster bean. *Journal of Food Legumes*, 2013, 26(3-4): 34-37.
77. Liu W-kh., Hou A.-f., Peffley E.B., Auld D.L. The inheritance and variation of gum content in guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *Agricultural Sciences in China*, 2009, 8(12): 1517-1522 (doi: 10.1016/S1671-2927(08)60367-3).
78. Zhukov V.A., Akhtemova G.A., Zhernakov A.I., Sulima A.S., Shtark O.Yu., Tikhonovich I.A. Evaluation of the symbiotic effectiveness of pea (*Pisum sativum* L.) genotypes in pot experiment. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2017, 52(3): 607-614 (doi: 10.15389/agrobiology.2017.3.607eng).
79. Shtark O.Y, Borisov A.Y, Zhukov V.A, Tikhonovich IA. Mutually beneficial legume symbioses with soil microbes and their potential for plant production. *Symbiosis*, 2012, 58: 51-62 (doi: 10.1007/s13199-013-0226-2).
80. Shtark O.Yu., Zhukov V.A., Sulima A.S., Singkh R., Naumkina T.S., Akhtemova G.A., Borisov A.Yu. Prospects for the use of multi-component symbiotic systems of the Legumes. *Ekologicheskaya genetika*, 2015, 13(1): 33-46 (doi: 10.17816/ecogen13133-46).
81. Kuznetsova I.G., Sazanova A.L., Safronova V.I., Popova Zh.P., Sokolova D.V., Tikhomirova N.Yu., Osledkin Yu.S., Karlov D.S., Belimov A.A. Isolation and identification of root nodule bacteria from guar *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2018, 53(6): 1285-1293 (doi: 10.15389/agrobiology.2018.6.1285eng).
82. Ul'yanich P.S., Belimov A.A., Kuznetsova I.G., Sazanova A.L., Yuzikhin O.S., Laktionov Yu.V., Karlov D.S., Vishnyakova M.A., Safronova V.I. Effectiveness of nitrogen-fixing symbiosis of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) with strains *Bradyrhizobium retamae* RCAM05275 and *Ensifer aridi* RCAM05276 in pot experiment. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2022, 57(3): 555-565 (doi: 10.15389/agrobiology.2022.3.555eng).