

УСТОЙЧИВОСТЬ ГУАРА *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. К ВРЕДНЫМ ОРГАНИЗМАМ*

(обзор)

Е.Е. РАДЧЕНКО, Д.В. СОКОЛОВА

Гуар *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. — тропическая однолетняя бобовая культура многоцелевого использования, перспективная для выращивания на юге России. В представленном обзоре обсуждается проблема устойчивости генетических ресурсов гуара к болезням и вредителям. Наиболее вредоносные болезни *C. tetragonoloba* — альтернариозная пятнистость (возбудитель *Alternaria cyamopsidis* Rangaswami & Rao) и бактериоз (*Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis* (Patel) Vauterin). Повсеместному и быстрому распространению заболеваний способствует сохранение инфекции в семенах. Устойчивость гуара к *A. cyamopsidis* не связана с анатомо-морфологическими особенностями растений. Степень поражения листьев альтернариозом зависит прежде всего от инсоляции, минимальной температуры воздуха, количества осадков и относительной влажности воздуха в вечернее время (M.S. Saharan с соавт., 2004). Устойчивость гуара к бактериозу контролируется олигогеном (P.S.K. Anil с соавт., 2012). Для *X. axonopodis* pv. *cyamopsidis* характерно дифференциальное взаимодействие с генотипами растения-хозяина. В США идентифицировали две расы патогена (0 и 1), которые различаются не только по вирулентности к сортам гуара, но и серологически. Разработан протокол иммуноферментного сорбционного анализа (ELISA) для детекции вирулентных и авирулентных штаммов бактерии (G.K. Vijayanand с соавт., 1999). Изоляты патогена существенно различаются по агрессивности при размножении на устойчивом (HG 75) и восприимчивом (PNB) генотипах гуара. Исследование этих же изолятов с помощью молекулярных маркеров также выявило значительный полиморфизм популяций патогена. Результаты, полученные с помощью двух разных подходов, в основном соответствовали друг другу (B. Kaug с соавт., 2005). Заражение растений возбудителями бактериоза и альтернариоза индуцировало формирование защитных реакций (накопление лигнина и фенольных соединений, повышение активности пероксидазы). Индуцированную устойчивость наблюдали и при инокуляции гуара возбудителями пепельной гнили *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., корневой гнили *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, фузариоза *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., а также при заселении растений тлей *Aphis craccivora* (Koch). Разнообразие возделываемых сортов гуара по генам устойчивости к фитопатогенам невысоко. В то же время дифференциальное взаимодействие с генотипами растения-хозяина выявлено не только для возбудителя бактериоза, но и для *M. phaseolina* (S. Purkayastha с соавт., 2006). Это означает, что для предотвращения эпифитотий необходимо выращивать сорта с разными генами устойчивости. В качестве перспективного способа расширения генетического разнообразия рассматривается интрогрессия генов устойчивости от диких видов *C. senegalensis* Guill. & Perr. и *C. serrata* Schinz. (S. Kumar с соавт., 2017). Однако основные методы селекции, применяемые на сегодняшний день, — внутривидовые скрещивания и фенотипический отбор. В качестве способа управления популяциями вредных насекомых в последнее время стали популярны смешанные посевы гуара с другими культурами (просо, бамия, клещевина).

Ключевые слова: гуар, *Cyamopsis tetragonoloba*, бактериоз, альтернариоз, корневая гниль, вредные насекомые, устойчивость.

Новая для России культура гуар, или гороховое дерево *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. (семейство *Fabaceae* L., $2n = 14$), чрезвычайно интересна для селекционно-генетических исследований. Растение происходит из Индии, где сосредоточены его основные посевные площади; в последнее время возделывается и в других странах Азии, Африки, Америки (преимущественно в США) и в Австралии. Гуар используют в пищу (плоды содержат значительное количество белка и жирное масло) и на корм скоту, однако наиболее востребованный продукт — гуаровая камедь, которая образуется во вторичном эндосперме семян. Камедь применяют в пищевой промышленности в качестве стабилизатора консистенции, увеличивающего вязкость и усиливающего желеобразующие свойства, а также в косметологии, бумажной, текстильной, угольной и нефтебуровой промышленности. Настоятельная необходимость импортозамещения гуаровой ка-

* Исследование выполнено при поддержке Минобрнауки РФ в рамках проекта RFMEFI60417X0168 (соглашение № 14.604.21.0168).

меди, прежде всего промышленного назначения, используемой при бурении нефтяных скважин, обусловила актуализацию проблемы выращивания тропической культуры в условиях России.

На гуаре отмечены грибные, бактериальные, вирусные и нематодные заболевания, существенный ущерб периодически наносят вредные насекомые. Список фитопатогенов, включающий облигатных паразитов и гембиотрофов, достаточно обширен. Наиболее вредоносными болезнями гуара считаются альтернариозная пятнистость, возбудитель которой *Alternaria cyamopsidis* Rangaswami & Rao (1), и бактериоз, вызываемый ксантомонадой *Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis* (Patel) Vauterin. Так, потери урожая в Индии вследствие распространения на посевах гуара альтернариоза достигают 60 % (2), бактериоза — 68 % (3). Один из наиболее серьезных фитофагов — гуаровая галлица *Contarinia texana* (Felt) способна унести до 30 % урожая зерна (4, 5). Вредят также тли, трипсы, цикадки, белокрылки, жесткокрылые насекомые (6-8). Необходимость анализа фитопатогенного ландшафта в России во всех предполагаемых зонах выращивания гуара вполне очевидна. Наиболее велик риск освоения новой культуры насекомыми-олигофагами и широко специализированными патогенами. Гриб *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., обуславливающий в Индии вилт и корневую гниль гуара (9, 10), распространен в России повсеместно. На экспериментальных посевах гуара в Усть-Лабинском районе Краснодарского края России к потерям урожая приводили две болезни — альтернариоз и бактериальная гниль (11).

Цель настоящего обзора — обобщить имеющиеся сведения о взаимодействиях гуара с вредными организмами, устойчивости растений к наиболее опасным патогенам и вредителям, селекции гуара на иммунитет.

Устойчивость к бактериозу. Возбудитель бактериоза гуара *X. axonopodis* pv. *cyamopsidis* впервые выявили в двух штатах Индии в 1952 году (12), вскоре — в США (13), Бразилии (14) и других странах. Инфекция сохраняется в семенах, что приводит к ее широкому и быстрому распространению (15). Эпифитотийное развитие болезни (поражение растений до 80 %) обычно наблюдается после затяжных ливней (16, 17).

Исследования, посвященные факторам устойчивости растений к патогену, немногочисленны. Установлено, что у восприимчивых к паразиту форм (прежде всего, сорт PNB) снижается активность пероксидаз и полифенолоксидаз. Отсутствие подобного снижения или повышение активности этих ферментов может служить маркером при отборе устойчивых к болезни растений (18). Инфицирование устойчивого образца HG 75 приводило к существенному повышению содержания в растениях фенолов и пероксидазы (19). У восприимчивого (Pusa Nav Bahar), умеренно устойчивых (HG 563, FS 277) и высокоустойчивого (дикий вид *Cyamopsis serrata* Schinz.) образцов гуара при искусственном заражении растений *X. axonopodis* pv. *cyamopsidis* исследовали содержание растворимых и структурных (целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин) углеводов. Максимальное снижение концентрации растворимых сахаров отмечено для инокулированных растений восприимчивого образца; минимальное изменение этого показателя было у образца *C. serrata*. Содержание структурных углеводов у восприимчивого сорта также снижалось, у устойчивых форм, напротив, повышалось, что свидетельствует о формировании защитных барьеров (20).

Устойчивость образцов HG 75 и RGC 137 к патогену контролируется доминантными генами, которые взаимодействуют неаллельно (21). В F₂ от скрещивания образцов HG 75 и HG 563 с чувствительными тестерами наблюдали соотношение фенотипов 13 устойчивых : 3 восприимчивых.

Авторы полагают, что HG 75 и HG 563 имеют по два главных гена, причем один контролирует устойчивость к болезни, а второй ингибирует его проявление (22). На наш взгляд, с равной вероятностью можно предположить присутствие у каждого из этих образцов доминантного и рецессивного генов устойчивости к бактериозу. К сожалению, генетический контроль устойчивости гуара к бактериозу и прочим вредным организмам обсуждается лишь в двух небольших публикациях. Отправной точкой исследований может послужить выполненное недавно (23) высокопроизводительное секвенирование транскриптома (RNA-seq) двух сортов гуара (M-83 и RGC-1066). В этой работе расшифрованы и аннотированы 62146 уникальных кодирующих последовательностей, идентифицированы 5773 микросателлитных (SSR) маркера и 3594 мононуклеотидных полиморфизма (SNP).

Для *X. axonopodis* pv. *cyamopsidis* характерно дифференциальное взаимодействие с генотипами растения-хозяина. В США идентифицировали две расы патогена (0 и 1), которые различаются не только по вирулентности к сортам гуара (24), но и серологически (25). Разработан протокол иммуноферментного сорбционного анализа (ELISA) для детекции вирулентных и авирулентных штаммов бактерии (26). Изоляты *X. axonopodis* pv. *cyamopsidis*, собранные на севере и северо-западе Индии, существенно различались по агрессивности при размножении на устойчивом (образец HG 75) и восприимчивом (PNB) генотипах гуара. Исследование этих же изолятов с помощью основанных на полимеразной цепной реакции молекулярных маркеров (прежде всего, RAPD) также выявило значительный полиморфизм популяций патогена. Результаты, полученные с помощью двух разных подходов, в основном соответствовали друг другу (27).

Устойчивость к альтернариозу. Возбудитель альтернариоза впервые был выявлен в 1953 году в Индии (28), затем в США (29) и других странах, где возделывается гуар. Повсеместному распространению заболевания способствовало сохранение инфекции в семенах (30). Показано, что для развития мицелия гриба оптимальна температура 35 °C (31). В других экспериментах наиболее сильное развитие болезни отмечали на сорте Pusa Navbahar (PNB) при 25-31 °C, 80 % относительной влажности воздуха и обильных осадках (32). Мониторинг *A. cyamopsidis* на умеренно устойчивых (HG-75, HG-365), умеренно восприимчивом (RGC-1000), восприимчивых (RGC-936, RGC-1002) и высоковосприимчивом (FS-277) сортах гуара показал, что на неустойчивых образцах болезнь развивается наиболее интенсивно, а степень поражения листьев зависит прежде всего от инсоляции, минимальной температуры воздуха, количества осадков и относительной влажности воздуха в вечернее время (2, 33).

Устойчивость гуара к болезни не связана с его анатомо-морфологическими особенностями. Сравнивали анатомические характеристики листьев у двух умеренно устойчивых (HG-75, HG-365), четырех восприимчивых (HG-258, HFG-119, RGC-936, RGC-1017) и высоко восприимчивого (FS-277) к альтернариозу сортов гуара. Все образцы не различались по числу и размеру устьиц на обеих поверхностях листовых пластинок. На верхней поверхности листьев у умеренно устойчивых форм число волосков (23-25 шт.) было несколько большим, чем у восприимчивых образцов (13-17 шт.), но степень опушения нижней поверхности листовой пластинки у всех сортов существенно не различалась. Количество воска на листьях устойчивых форм на всех стадиях роста оказалось выше, чем у восприимчивых образцов, однако различия не были статистически значимы (34).

Инокуляция гуара *A. cyamopsidis* приводила к существенному накоплению полифенолоксидазы и фенольных соединений (35, 36). U.N. Joshi с

соавт. (30, 36), исследуя биохимический состав восприимчивого (IC 116835) и умеренно устойчивого (IC 116903) к возбудителю альтернариоза образцов гуара, выявили повышение активности ферментов, а также накопление фенолов и лигнина в ответ на заражение патогеном. В растениях устойчивого сорта RGC-986 отмечено наиболее высокое содержание растворимых белков и фенольных соединений в сравнении с умеренно устойчивой (RGC-1003) и восприимчивой (RGC-936) формами. Заражение патогеном приводило к наиболее существенному снижению содержания растворимых белков у восприимчивого образца и повышению концентрации фенолов у сорта RGC-986. У инфицированных растений устойчивого образца отмечена наибольшая концентрация сахаров (37, 38).

Устойчивость к другим заболеваниям. Сведения об устойчивости гуара к возбудителям других заболеваний ограничиваются преимущественно констатацией неспецифических реакций растений в ответ на внедрение патогена. Активную реакцию наблюдали при заражении образцов с разной устойчивостью к возбудителю углистой (пепельной) склероциальной гнили *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid. В листьях и корнях устойчивых форм выявлена наиболее высокая активность пероксидазы, ряда других ферментов и накопление фенольных соединений. Наиболее устойчивым был сорт RGC 1031 (39, 40). Разработан маркер SCAR-20, который позволяет идентифицировать образец RGC 1031 (41). При заражении возбудителем вилта гуара *F. solani* в растениях снижалось содержание белка и повышалась активность протеолитических ферментов (10).

Фитопатологические и молекулярно-генетические исследования показали, что изоляты *M. phaseolina*, собранные на гуаре и других растениях, различаются по специфичности к хозяевам и агрессивности на восприимчивом сорте FS 277 (42).

Внесение в почву цинка ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$), меди ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) и марганца ($MnSO_4 \cdot H_2O$) индуцировало формирование устойчивости к корневой гнили (возбудители *Rhizoctonia* spp.) у восприимчивого образца FS 277, о чем свидетельствовало снижение степени поражения инфицированных растений. При этом в растениях повышалась активность окислительных ферментов, накапливались фенольные соединения и структурные углеводы (43-45). Системную устойчивость гуара к *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn также индуцировала обработка семян сорта Local салициловой кислотой и/или *Pseudomonas fluorescence* Migula. В опытных растениях выявлено накопление PR-белков (хитиназы, β -1,3 глюканазы), фенольных соединений и лигнина, повышение активности ферментов (46).

В Индии и Пакистане вирусы скручивания листьев папайи (PaLCuV) и томата (ToLCV), вирус желтого скручивания листьев томата (TYLCV), а также рекомбинантный вирус скручивания листьев гуара (CuTLCuV), которые переносятся белокрылкой *Bemisia tabaci* Genn., вызывают деформацию листовых пластинок, укорочение междоузлий и стеблей растений гуара (47-51). В Индии на гуаре выявлен вирус штриховатости табака (TSV), который вызывает мозаичность и некрозы листьев, а также некротические полосы на стеблях (52). Широко распространен на посевах гуара вирус обыкновенной мозаики фасоли (BSMV), который передается не только тлями, но и с инокулированными семенами (53).

Устойчивость к насекомым. Работы на тему устойчивости гуара к насекомым немногочисленны. S.P. Singh с соавт. исследовали 40 образцов гуара и выявили 3 скороспелые формы (HG 365, HG 563, RGC 1066), слабо заселявшиеся тлей *Aphis craccivora* (Koch). Наибольшую численность насекомых отмечали на позднеспелых сортах (54). Заселение

гуара *A. craccivora* приводило к накоплению в растениях фенольных соединений и ферментов, а также к снижению содержания углеводов и аминокислот. Любопытно, что максимальный сбор камеди был получен с растений, характеризующихся повышенным содержанием углеводов и фенолов, что обуславливало повышенную устойчивость к фитофагу (55).

В результате изучения 60 сортов гуара выявили 5 образцов (СН 14-2, НГ 75, НГ 94, НГ 258, НГ 365), характеризующихся устойчивостью к белокрылке *B. tabaci* (56, 57). Оценили 8 образцов гуара по устойчивости к листоедам (сем. *Chrysomelidae* Latreille), цикадкам *Amrasca biguttula bigutella* (Ishida), *Empoasca* Walsh spp., тле *Aphis medicaginis* Koch и американскому клеверному минеру *Liriomyza trifolii* (Burgess). В меньшей степени заселялись фитофагами высокоурожайные образцы RGC-1031 и GAUG-13 (58). Сообщалось о комплексной устойчивости сорта гуара BR-99 к насекомым (цикадка, белокрылка) и корневой гнили в Пакистане (59).

Селекция на устойчивость. Данные литературы свидетельствуют о невысоком генетическом разнообразии источников устойчивости гуара к патогенам. В полевых и лабораторных экспериментах было показано, что сорт Brooks устойчив к *A. cyamopsidis*, а также к бактериозу в США (29). К бактериозу и альтернариозу устойчивы сорта Hall и Mills, производные от них сорта Kinman, Esser, а также высокоурожайный сорт Lewis (60). Сорт Lewis отобран в F₈ от скрещивания линии T64001-12-1-B-3-2-B-2 (Brooks × Mills) с образцом PI 338780-B из Индии (61); идентичную родословную имеет сорт Santa Cruz (62). Возделывание генетически однородных сортов способствовало адаптивной микроэволюции патогена. Уже появились сообщения, что сорта Brooks, Hall и Mills стали сильно поражаться возбудителем бактериоза (63). Родословная устойчивых к болезням сортов гуара из Индии в литературе не обсуждается. Помимо упомянутых выше сортов, резистентность к альтернариозу проявили образцы HFG-14, HFG-236, HFG-516, HFG-522, HFG-530, HFG-554 (64), CVS, RGC-619, RGC-677 и RGC-679 (65), НГ-182 (66). Сообщается об устойчивости к болезням образцов RGC 986, RGC 1003, RGC 1002, RGC 1017, RGM 112 (67). Устойчивость к возбудителю антракноза *Colletotrichum capsici* f. sp. *cyamopsicola* (Desai & Prasad) имеет сорт RGC 673 (68).

Подавляющее большинство селекционно-генетических работ до сих пор выполнялось в Индии, где собрана самая обширная коллекция гуара (около 5 тыс. образцов). В основном применяются внутривидовые скрещивания и фенотипический отбор. У гуара широко варьируют морфологические признаки (69, 70), но разнообразие его возделываемых сортов по генам устойчивости к фитопатогенам невысоко (71).

Для наиболее распространенного вредного организма — возбудителя бактериоза *X. axonopodis* pv. *cyamopsidis* показано дифференциальное взаимодействие с генотипами растения-хозяина. Проблема преодоления устойчивости растений вследствие распространения новых внутривидовых форм вредных организмов актуальна и для других экономически важных видов. Это означает, что для предотвращения эпифитотий и массового размножения насекомых необходимо выращивать сорта с разными генами устойчивости. Перспективный подход для расширения генетического разнообразия — интрогрессия генов устойчивости от диких видов *C. senegalensis* Guill. & Perr. и *C. serrata* Schinz. (71). Известно также несколько способов управления популяциями вредных организмов, основанных на увеличении разнообразия популяций растений в пространстве и времени: смешанные посевы, сортосмена, мозаики сортов. Создание смешанных посевов разных видов растений в последнее время популярно в Индии.

Возделывание гуара совместно с уплотняющими культурами существенно снижало численность вредных насекомых (цикадок, белокрылок, тлей) на растениях. Так, при использовании проса в качестве уплотнителя заселение гуара *A. craccivora* оказалось самым низким, а урожай — наиболее высоким (72). Уплотняющие посевы гуара, которые размещались либо рядом с бамией *Abelmoschus esculentus* (L.) Moench, либо ленточно по границе и внутри поля, обуславливали снижение численности сосущих и грызущих вредителей бамии, а также привлекали энтомофагов (73). Совместное выращивание клещевины (*Ricinus communis* L.) и гуара в соотношении 2:1 также значимо снижало численность вредных насекомых на клещевине и привлекало полезную энтомофауну (74).

Фитосанитарный мониторинг посевов гуара в России. В 2017 году мы провели фитосанитарные обследования гуара (питомники размножения образцов, изучения коллекции и экологического испытания) на Кубанской опытной станции ВИР (Гулькевичский р-н, Краснодарский край) и анализ инфицированного растительного материала. Фитосанитарный мониторинг в начале июля (всходы) показал безусловное доминирование представителей семейства *Aphididae* (настоящие тли) отряда *Homoptera* (равнокрылые) на ювенильных растениях. Во всех питомниках наблюдали вспышку размножения бобовой тли *Aphis fabae* Scopoli: численность насекомых на некоторых растениях превышала 2 тыс. особей на побег. Выявлены также колонии персиковой *Myzus persicae* (Sulzer) и гороховой *Acyrtosiphon pisum* Harris тлей. При сильном заселении отмечали гибель растений. Хищников в колониях тли не обнаружили, мумифицированных паразитами особей находили единично. Начинаясь распространение переносимой тлями вирусной инфекции (пожелтение и мраморность листьев). Патогенную микофлору представляли преимущественно грибы рода *Alternaria* Nees, вызывающие альтернариозную пятнистость листьев. Обнаружено начало распространения бактериальной пятнистости. В конце августа (цветение—плодоношение) на гуаре после инсектицидных обработок выявили лишь единичные колонии тлей. После их массового размножения наблюдалось сильное очаговое вирусное поражение растений. Анализ ризосферной патогенной микофлоры показал доминирование грибов из родов *Verticillium* Nees и *Fusarium* Link. Как и в период первого учета, выявили два повсеместно распространенных заболевания — альтернариоз и бактериоз, однако эпифитотийное развитие было характерно только для последнего. Отмечали массовое усыхание и гибель растений для ряда образцов (75). В трех независимых опытах оценили коллекционные образцы гуара в условиях эпифитотии бактериоза. Наиболее высокая устойчивость к болезни выявлена у к-52569 (Пакистан), к-52575 (США) и к-52580 (Индия). Несколько форм выделили лишь в одном из опытов, что обусловлено гетерогенностью образцов. Очевидно, устойчивые к болезни линии можно отбирать из большинства коллекционных образцов (75).

Таким образом, самое вредоносное заболевание гуара, в том числе в России, — бактериоз. Источники устойчивости к патогену выявлены в Индии и на американском континенте, но срок их полезной жизни ограничен в силу специфичности отношений паразит—хозяин. Потенциально очень опасны альтернариозная пятнистость и фузариозная корневая гниль. Среди фитофагов наиболее вредоносны тли — переносчики вирусной инфекции. Заражение патогенами и заселение вредителями индуцирует у гуара защитные реакции. Из-за дифференциального взаимодействия вредных организмов с генотипами хозяина возделывание генетически однородных сортов ведет к массовому размножению насекомых и эпифитотиям бо-

лезней. Поэтому необходимо вовлекать в селекцию как можно большее число сортов. При возделывании следует чередовать во времени сорта с разными генами устойчивости, использовать мозаики (выращивание большого числа сортов с неодинаковыми генами устойчивости в ареале патогена) и сортосмеси (прием, хорошо зарекомендовавший себя в борьбе с вредными насекомыми). В селекции перспективно создание мультилинейных сортов (механические смеси фенотипически сходных линий с неодинаковыми генами устойчивости) и пирамидирование (объединение различных факторов устойчивости в одном генотипе). Следует отметить, что объем исследований по генетике устойчивости растений и внутривидовой изменчивости патогенов пока недостаточен. В России они активизировались в связи с проектом создания сортов гуара с комплексной устойчивостью (Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова). В рамках этой программы, наряду с поиском молекулярных маркеров и генов-кандидатов хозяйственно ценных признаков, в настоящее время выполняется анализ последовательностей аллельных вариантов генов, определяющих устойчивость гуара к болезням и вредителям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Woudenberg J.H.C., Truter M., Groenewald J.Z., Crous P.W. Large-spored *Alternaria* pathogens in section *Porri* disentangled. *Stud. Mycol.*, 2014, 79: 1-47 (doi: 10.1016/j.simyco.2014.07.003).
2. Saharan M.S., Saharan G.S. Influence of weather factors on the incidence of Alternaria blight of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.) on varieties with different susceptibilities. *Crop Prot.*, 2004, 23(12): 1223-1227 (doi: 10.1016/j.cropro.2004.05.006).
3. Gandhi S.K., Chand J.N. Yield losses in guar due to bacterial blight caused by *Xanthomonas campestris* pv. *cyamopsidis*. *Indian Phytopath.*, 1985, 38: 516-519.
4. Rogers C.E. Economic Impact of midges on guar seed production in the Texas Rolling Plains. *J. Econ. Entomol.*, 1972, 65(6): 1689-1694 (doi: 10.1093/jee/65.6.1689).
5. Rogers C.E. Economic injury level for *Contarinia texana* on guar. *J. Econ. Entomol.*, 1976, 69(5): 693-696 (doi: 10.1093/jee/69.5.693).
6. Dharmanna K., Ashoka J., Sreenivas A.G. Screening of genotypes of gum guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (Linn.) Taub.] against insect pests. *J. Experim. Zool.*, India, 2017, 20(2): 1065-1069.
7. Pawar S.T., Patel P.S., Pareek A., Deb S., Patel B.C. Pest succession of important pests and their natural enemies on cluster bean *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taubert. *AGRES — An Intern. e-Journal*, 2017, 6(1): 71-79.
8. Yadav S.R., Kumawat K.C., Khinchi S.K. Efficacy of new insecticide molecules and bioagents against sucking insect pests of cluster bean, *Cyamopsis tetragonoloba* (Linn.) Taub. *Legume Res.*, 2015, 38(3): 407-410 (doi: 10.5958/0976-0571.2015.00125.3).
9. Pareek V., Varma R. *Fusarium solani* a dominant seed borne pathogen in seeds of cluster bean grown in Rajasthan. *Biosci. Biotech. Res. Comm.*, 2015, 8(1): 29-34.
10. Pareek V., Varma R. Estimation of protein and its related enzyme in cluster bean plant parts infected with *Fusarium solani* caused wilt disease. *Int. J. Multidiscipl. Res. Devel.*, 2015, 2(11): 241-244.
11. Волошин М.И., Лебедь Д.В., Брусенцов А.С. Результаты интродукции нового бобового растения — гуара (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Труды Кубанского государственного аграрного университета*, 2016, 58(1): 84-91.
12. Patel M.K., Dhande G.W., Kulkarni Y.S. Bacterial leafspot of *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. *Current Science*, 1953, 22(6): 183.
13. Orellana R.G., Thomas C.A., Kinman M.L. A bacterial blight of guar in United States. *FAO Plant Prot. Bull.*, 1965, 13(1): 9-13.
14. Almeida I.M.G., Beriam L.O.S., Malavolta V.A., Ambrosan E.J. Isolation and characterization of *Xanthomonas campestris* pv. *cyamopsidis* in Brazil and reaction of guar genotypes to the bacterium. *Summa Pytopathologica*, 1992, 18(3-4): 255-261.
15. Jain R., Agrawal K. Incidence and seed transmission of *Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis* in cluster bean. *J. Agric. Technol.*, 2011, 7(1): 197-205.
16. Mihail J.D., Alcorn S.M. Bacterial blight (*Xanthomonas campestris* pv. *cyamopsidis*) of guar in Arizona. *Plant Dis.*, 1985, 69(9): 811 (doi: 10.1094/PD-69-811c).
17. Ren Y.Z., Yue Y.L., Jin G.X., Du Q. First report of bacterial blight of guar caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis* in China. *Plant Dis.*, 2014, 98(6): 840 (doi: 10.1094/PDIS-09-13-0983-PDN).
18. Kalaskar S.R., Shinde A.S., Dhembre V.M., Sheikh W.A., Patil V.S., Rathod A.H., Acharya S. The role of peroxidase and polyphenoloxidase isoenzymes in resistance to bacterial leaf blight

- (*Xanthomonas campestris* pv. *cyamopsidis*) in clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Journal of Cell and Tissue Research*, 2014, 14(3): 4577-4580.
19. Lodha S., Mali P. C., Burman U. Development of bacterial blight and changes in biochemical components in the resistant and susceptible genotypes of clusterbean. *Indian Phytopathology*, 1993, 46(4): 354-359.
 20. Lata S., Joshi U.N., Wadhwa N. Structural and non-structural carbohydrates in relation to bacterial blight resistance in forage guar (*Cyamopsis* sp.). *Forage Res.*, 2016, 42(2): 124-130.
 21. Singh J.V., Saini M.L., Lodhi G.P., Arora R.N. Genetics of bacterial blight resistance in clusterbean. *Ann. Arid Zone*, 1997, 36(2): 143-146.
 22. Anil P.S.K., Kadian S.P., Gandhi S.K., Bhusal N. Inheritance of bacterial leaf blight resistance in clusterbean. *Forage Res.*, 2012, 38(3): 182-183.
 23. Tanwar U.K., Pruthi V., Randhawa G.S. RNA-Seq of guar (*Cyamopsis tetragonoloba*, L. Taub.) leaves: de novo transcriptome assembly, functional annotation and development of genomic resources. *Front. Plant Sci.*, 2017, 8: Article 91 (doi: 10.3389/fpls.2017.00091).
 24. Orellana R.G., Kinman M.L. A new virulent race of *Xanthomonas cyamopsidis*, bacterial blight of guar. *Plant Dis. Rep.*, 1970, 54: 111-113.
 25. Orellana R.G., Weber D.F. Immunodiffusion analysis of isolates of *Xanthomonas cyamopsidis*. *Appl. Microbiol.*, 1971, 22(4): 622-624.
 26. Vijayanand G.K., Shylaja M.D., Krishnappa M., Shetty H.S. An approach to obtain specific polyclonal antisera to *Xanthomonas campestris* pv. *cyamopsidis* and its potential application in indexing of infected seeds of guar. *J. Appl. Microbiol.*, 1999, 87(5): 711-717.
 27. Kaur B., Purkayastha S., Dilbaghi N., Chaudhury A. Characterization of *Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis*, the bacterial blight pathogen of cluster bean using PCR-based molecular markers. *J. Phytopathol.*, 2005, 153(7-8): 470-479.
 28. Rangaswami G., Rao A.V. *Alternaria* blight of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.]. *Indian Phytopath.*, 1957, 10(1): 13-18.
 29. Orellana R.G., Simmons E.G. *Alternaria* blight of guar in the United States. *Mycopathol. Mycol. Appl.*, 1966, 29(1-2): 129-133.
 30. Joshi U.N., Gupta P.P., Gupta V., Kumar S. Biochemical factors in cluster bean that impart *Alternaria* blight resistance. *J. Mycol. Pl. Pathol.*, 2004, 34(2): 581-583.
 31. Singh S.D., Prasada R. Studies on physiology and control of *Alternaria cyamopsidis* the incitant of blight disease of guar. *Indian J. Mycol. Plant Pathol.*, 1972, 3(1): 33-39.
 32. Yogendra S., Kushwaha K.P.S., Chauhan S.S. Epidemiology of *Alternaria* leaf blight of cluster bean caused by *Alternaria cyamopsidis*. *Ann. Plant Prot. Sci.*, 1995, 3(2): 171-172.
 33. Saharan M.S., Saharan G.S. Influence of environmental factors on *Alternaria* blight development on clusterbean. *Indian Phytopath.*, 2001, 54(2): 188-192.
 34. Saharan M.S., Saharan G.S., Gupta P.P. Pre-infectious anatomical characteristics in cluster bean leaf in relation to *Alternaria* blight resistance. *Indian Phytopath.*, 2001, 54(3): 307-310.
 35. Saharan M.S., Saharan G.S., Gupta P.P., Joshi U.N. Phenolic compounds and oxidative enzymes in cluster bean leaves in relation to *Alternaria* blight severity. *Acta Phytopathol. Entomol. Hungarica*, 2001, 36(3/4): 237-242 (doi: 10.1556/aphyt.36.2001.3-4.2).
 36. Saharan M.S., Saharan G.S., Joshi U.N. Phenolic compounds and oxidative enzymes in healthy and *Alternaria* blight infected leaves of clusterbean. *Acta Phytopathol. Entomol. Hungarica*, 1999, 34(4): 299-306.
 37. Meena A.K., Godara S.L., Gangopadhyay S. Biochemical changes in constituents of cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] due to *Alternaria* blight. *Indian Phytopath.*, 2011, 64(Suppl. Issue): 72.
 38. Meena A.K., Godara S.L., Gangopadhyay S., Ram J. Changes in biochemical constituents in cluster bean due to *Alternaria cucumerina* var. *cyamopsidis*. *Ann. Plant Prot. Sci.*, 2012, 20(2): 386-388.
 39. Joshi U.N., Gupta P.P., Singh J.V. Biochemical parameters involved in resistance against root rot of cluster bean. In: *Advances in Arid Legumes Research*. Scientific Publishers, Jodhpur, India, 2003: 405-411.
 40. Sharma A., Joshi N., Sharma V. Induction of defense mechanism in cluster bean using differential method of inoculation. *Vegetos: Intern. J. Plant Res.*, 2012, 25(1): 253-260.
 41. Sharma P., Kumar V., Raman K.V., Tiwari K. A set of SCAR markers in cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub) genotypes. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 2014, 5(2): 131-141 (doi: 10.4236/abb.2014.52017).
 42. Purkayastha S., Kaur B., Dilbaghi N., Chaudhury A. Characterization of *Macrophomina phaseolina*, the charcoal rot pathogen of cluster bean, using conventional techniques and PCR-based molecular markers. *Plant Pathol.*, 2006, 55(1): 106-116 (doi: 10.1111/j.1365-3059.2005.01317.x).
 43. Wadhwa N., Joshi U.N. Zinc supplementation induces resistance against root-rot in guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub] seedlings. *Australas. Plant Path.*, 2016, 45(5): 465-471 (doi: 10.1007/s13313-016-0439-y).
 44. Wadhwa N., Joshi U.N., Gandhi S.K. Zinc induced enzymatic defense mechanisms in *Rhizoctonia* root rot infected clusterbean seedlings. *Journal of Botany*, 2014: Article ID 735760 (doi: 10.1155/2014/735760).
 45. Wadhwa N., Joshi U.N., Mehta N. Copper and manganese increase resistance of clusterbean to

- root rot caused by *Rhizoctonia*. *J. Phytopathol.*, 2013, 161(3): 172-179 (doi: 10.1111/jph.12046).
46. Abdel-Monaim M.F. The role of salicylic acid and *Pseudomonas fluorescens* in systemic resistance against *Rhizoctonia solani* Kühn in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.). *Int. J. Phytopath.*, 2017, 6(1): 1-15.
 47. Khan J.A., Sohrab S.S., Aminuddin. Guar leaf curl disease from India is caused by *Tomato leaf curl virus*. *Plant Pathol.*, 2003, 52(6): 796 (doi: 10.1111/j.1365-3059.2003.00905.x).
 48. Kumar J., Kumar A., Roy J.K., Tuli R., Khan J.A. Identification and molecular characterization of begomovirus and associated satellite DNA molecules infecting *Cyamopsis tetragonoloba*. *Virus Genes*, 2010, 41(1): 118-125 (doi: 10.1007/s11262-010-0482-7).
 49. Zaffalon V., Mukherjee S., Reddy V., Thompson J., Tepfer M. A survey of geminiviruses and associated satellite DNAs in the cotton-growing areas of northwestern India. *Arch. Virol.*, 2011, 157(3): 483-495 (doi: 10.1007/s00705-011-1201-y).
 50. Tahir M.N., Mansoor S., Briddon R.W., Amin I. Begomovirus and associated satellite components infecting cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) in Pakistan. *J. Phytopathol.*, 2017, 165(2): 115-122 (doi: 10.1111/jph.12544).
 51. Zaidi S.S., Shakir S., Farooq M., Amin I., Mansoor S. First report of a novel strain of *Tomato yellow leaf curl virus* causing yellow leaf curl disease on cluster bean in Pakistan. *Plant Dis.*, 2017, 101(6): 1071 (doi: 10.1094/PDIS-12-16-1859-PDN).
 52. Sivaprasad Y., Bhaskara Reddy B.V., Sujitha A., Sai Gopal D.V.R. First report of *Tobacco streak virus* infecting *Cyamopsis tetragonoloba*. *J. Plant Pathol.*, 2012, 94(Suppl. 4): S4.96.
 53. Gillaspie A.G. Jr., Pappu H.R., Jain R.K., Rey M.E.C., Hopkins M.S., Pinnow D.L., Morris J.B. Characteristics of a latent potyvirus seedborne in guar and of guar green-sterile virus. *Plant Dis.*, 1998, 82(7): 765-770 (doi: 10.1094/PDIS.1998.82.7.765).
 54. Singh S.P., Singh J.V. Evaluation of some clusterbean genotypes for resistance to aphid, *Aphis craccivora* Koch. *Forage Res.*, 2005, 31(1): 67-68.
 55. Sambangi P., Usha Rani P. Role of physical and biochemical parameters of different cluster bean varieties on the guar gum content and aphid infestation. *International Journal of Current Research in Biosciences and Plant Biology*, 2016, 3(4): 83-90.
 56. Singh S.P., Singh J.V., Singh V.P. Screening of clusterbean genotypes for resistance of whitefly, *Bemisia tabaci* Genn. *Forage Res.*, 1996, 22(1): 59-62.
 57. Singh S.P. Insect-pest management in cowpea and clusterbean crops. In: *Advances in Arid Legumes Research*. Scientific Publishers, Jodhpur, India, 2003: 448-452.
 58. Dharmanna K., Ashoka J., Sreenivas A.G. Screening of genotypes of gum guar [*Cyamopsis tetragonoloba* (Linn.) Taub.] against insect pests. *J. Experim. Zool.*, India, 2017, 20(2): 1065-1069.
 59. Saleem M.I., Shah S.A.H., Akhtar L.H. BR-99 a new guar cultivar released for general cultivation in Punjab province. *Asian Journal of Plant Sciences*, 2002, 1(3): 266-268 (doi: 10.3923/ajps.2002.266.268).
 60. Undersander D.J., Putnam D.H., Kaminski A.R., Kelling K.A., Doll J.D., Oplinger E.S., Gunsolus J.L. Guar. In: *Alternative field crops manual*. University of Wisconsin-Extension, Madison, 1991.
 61. Stafford R.E., Ray D.T. Registration of Lewis guar. *Crop Sci.*, 1985, 25(2): 365.
 62. Ray D.T., Stafford R.E. Registration of Santa Cruz guar. *Crop Sci.*, 1985, 25(6): 1124-1125.
 63. Wong L.J., Parmar C. *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Tauber. In: *Plant Resources of South-East Asia. No. 11: Auxiliary plants* /I. Faridah Hanum, L.J.G. Van der Maesen (eds.). Backhuys Publisher, Leiden, Netherlands, 1997.
 64. Gandhi S.K., Saini M.L., Jhorar B.S. Screening of clusterbean genotypes for resistance to leaf spot caused by *Alternaria cyamopsidis*. *Forage Res.*, 1978, 4(2): 169-171.
 65. Gaur R.B., Ahmed S.A. Studies on chemical control, source of resistance and survey of *Alternaria* leaf spot of clusterbean. *Forage Res.*, 1983, 9: 179-180.
 66. Shivanna M.B., Shetty H.S. Reaction of selected cluster bean varieties to infection by *Alternaria cyamopsidis* and *Colletotrichum dematium*. *Indian J. Agr. Sci.*, 1991, 61(11): 856-859.
 67. Kumar D. Status and direction of arid legumes research in India. *Indian J. Agr. Sci.*, 2005, 75(7): 375-391.
 68. Bhargava L.P., Gupta R.B.L., Mathur K. Evaluation of guar varieties to *Colletotrichum* seedling blight and its control by seed dressing fungicides. *Indian J. Mycol. Pl. Pathol.*, 1978, 8(1): 13-14.
 69. Boghara M.C., Dhaduk H.L., Kumar S., Parekh M.J., Patel N.J., Sharma R. Genetic divergence, path analysis and molecular diversity analysis in cluster bean *Cyamopsis tetragonoloba* L. Taub.). *Ind. Crop. Prod.*, 2016, 89: 468-477 (doi: 10.1016/j.indcrop.2016.05.049).
 70. Malaghan S.N., Madalageri M.B., Ganiger V.M., Bhuvaneshwari G., Kotikal Y.K., Patil H.B. Genetic variability and heritability in cluster bean [*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub.] for vegetable pod yield and its component characters. *International Journal of Agricultural Sciences*, 2013, 9(2): 765-768.
 71. Kumar S., Modi A.R., Parekh M.J., Mahla H.R., Sharma R., Fogat R.S., Yadav D., Yadav N.R., Patil G.B. Role of conventional and biotechnological approaches for genetic improvement of cluster bean. *Ind. Crop. Prod.*, 2017, 97: 639-648 (doi: 10.1016/j.indcrop.2017.01.008).
 72. Yadav S.R., Kumawat K.C., Naga B.L., Naga R.P., Khinchu S.K. Effect of intercrops on the incidence of insect pests of clusterbean, *Cyamopsis tetragonoloba*. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2017, 5(4): 737-740.

73. Roy D., Sarkar P.K. Positioning cluster bean, *Cyamopsis ttragonoloba* L. in an effective way to reduce the major insect pest load of okra, *Abelmoschus esculentus* L. *Int. J. Pure App. Biosci.*, 2017, 5(1): 164-170 (doi: 10.18782/2320-7051.2441).
74. Rao M.S., Rama Rao C.A., Srinivas K., Pratibha G., Vidya Sekhar S.M., Sree Vani G., Venkatswarlu B. Intercropping for management of insect pests of castor, *Ricinus communis*, in the semi-arid tropics of India. *J. Insect Sci.*, 2012, 12(1): Article 14 (doi: 10.1673/031.012.1401).
75. Radchenko E. Incidence of insect pests and diseases of guar in Krasnodar area of Russia. *International Congress on Oil and Protein Crops. Proc. Meeting of the EUCARPIA Oil and Protein Crops Section, 2018*. Chisinau, 2018: 158.

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт
генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,
190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44,
e-mail: eugene_radchenko@rambler.ru ✉, dianasokol@bk.ru

Поступила в редакцию
18 апреля 2018 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2018, V. 53, № 5, pp. 897-906

RESISTANCE OF GUAR *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub. TO HARMFUL ORGANISMS (review)

E.E. Radchenko, D.V. Sokolova

Federal Research Center the Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Federal Agency for Scientific Organizations, 42-44, ul. Bol'shaya Morskaya, St. Petersburg, 190000 Russia, e-mail eugene_radchenko@rambler.ru (✉ corresponding author), dianasokol@bk.ru

ORCID:

Radchenko E.E. orcid.org/0000-0002-3019-0306

Sokolova D.V. orcid.org/0000-0002-9967-7454

The author declares no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported financially by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, project RFMEFI60417X0168, agreement №14.604.21.0168

Received April 18, 2018

doi: 10.15389/agrobiol.2018.5.897eng

Abstract

Guar (clusterbean) *Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub., a tropical annual legume crop of a multipurpose use, is promising for growing in the South Russia. The problem of resistance of guar to diseases and pests is discussed. The *Alternaria* leaf blight caused by *Alternaria cyamopsidis* Rangaswami & Rao and bacteria leaf blight caused by *Xanthomonas axonopodis* pv. *cyamopsidis* (Patel) Vauterin) are the most harmful diseases of guar. Seed infection promotes the extensive and fast spread of the disease. Anatomical and morphological characters are not having any relationship with *A. cyamopsidis* resistance in clusterbean plants. Sunshine, minimum temperature, cumulative rainfall and relative humidity in the evening were found significantly associated with *Alternaria* leaf blight severity (M.S. Saharan et al., 2004). The resistance of guar to bacteria leaf blight is oligogenically controlled (P.S.K. Anil et al., 2012). For *X. axonopodis* pv. *cyamopsidis* a differential interaction with plant host genotypes is characteristic. In the USA the two races of the pathogen (0 and 1) have been identified which differed not only by the virulence to guar varieties but serologically as well. A protocol of ELISA test for detecting virulent and avirulent strains of the bacteria is elaborated (G.K. Vijayanand et al., 1999). The pathogen isolates significantly differ in aggressivity when they are proliferated on resistant (HG 75) and sensitive (PNB) genotypes of guar. The analysis of the isolates with the use of molecular markers has revealed a significant polymorphism of the pathogen populations. The results obtained using two different approaches correspond to each other (B. Kaur et al., 2005). Plant infection with bacteria leaf blight and *Alternaria* leaf blight induces protective response (i.e. lignin and phenol compounds accumulation, increase of peroxidase activity). The induced resistance was observed when guar was inoculated with casual agents of charcoal rot *Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid., root rot *Rhizoctonia solani* J.G. Kühn, wilt *Fusarium solani* (Mart.) Sacc., and also with aphids infestation. The diversity of cultivated guar varieties for resistance to pathogens is not high. At the same time a differential interaction with plant host genotypes is revealed not only for bacteria leaf blight causal agent but also for *M. phaseolina* (S. Purkayastha et al., 2006). This means that varieties with different resistance genes should be grown for prevention of epiphytotic. The introgression of resistance genes from the wild species *C. senegalensis* Guill. & Perr. and *C. serrata* Schinz is considered as a promising approach for broadening genetic diversity (S. Kumar et al., 2017). However, interspecific crosses and phenotypic selection are the main breeding methods applied to date. In recent times the intercropping of guar with other crops (millet, okra, and castor) is also used for controlling populations of harmful organisms.

Keywords: guar, *Cyamopsis tetragonoloba*, bacterial blight, *Alternaria* leaf blight, root rot, insect pests, resistance.