

Обзоры, проблемы

УДК 633.37:633.524.1

doi: 10.15389/agrobiology.2024.1.3rus

**КРОТАЛЯРИЯ СИТНИКОВАЯ (*Crotalaria juncea* L.) —
НОВАЯ БОБОВАЯ КУЛЬТУРА В РОССИИ: ХАРАКТЕРИСТИКА
И ПЕРСПЕКТИВЫ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ***

(обзор)

**Я.В. ПУХАЛЬСКИЙ^{1, 2, 3} ✉, Н.И. ВОРОБЬЕВ¹, С.И. ЛОСКУТОВ^{2, 3},
Р.И. ГЛУШАКОВ^{4, 5}, Ю.В. КОСУЛЬНИКОВ¹, А.И. ЯКУБОВСКАЯ⁶,
Г.В. НИКИТИЧЕВА², Л.А. ГОРОДНОВА², А.П. КОЖЕМЯКОВ¹,
Ю.В. ЛАКТИОНОВ¹**

Кроталария ситниковая (*Crotalaria juncea* L.) — однолетнее бобовое растение многоцелевого назначения. Это древнейшая лубяная культура, которая выращивается на полях тропических регионов для получения волокна (H.R. Bhandari с соавт., 2016, 2022). В 1791 году растение было привезено в Европу, где возделывается в качестве альтернативной сидеральной культуры. Доказано, что кроталария производит достаточное количество сухого вещества, чтобы защитить почву от возможной эрозии, а также обеспечивает накопление азота в количестве, полезном для последующих культур в диверсифицированном севообороте (D. Scott с соавт., 2022, A.P. Vagros с соавт., 2022). В США растение занимает одно из ведущих мест в списке промежуточных покровных культур. Сухая зеленая биомасса содержит от 18 до 22 % белка, но может идти на корм скоту лишь в ограниченном количестве (< 10 % от объема получаемого силоса), поскольку в ней на стадии цветения накапливается токсическое алкалоидное вещество монокроталин. В семенах содержится до 35-40 % белка, и также присутствует небольшая доля (до 0,1 %) токсичных дегидропирролизидиновых алкалоидов (триходезмин, джунсеин, апигенин-7-4'-0-диглюкозид, апигенин-7-глюкуронид, лектин, сенеционин и сенецифиллин) и аминокислот (α -амино- β -оксиаминопропионовая, α -аминоксиламиномасляная и/или α , γ -диаминомасляная кислота) (V.V. Malashetty с соавт., 2015; F. Prada с соавт., 2020). Их включение в рацион животных требует особого подхода и по возможности нежелательно. Основной нетоксичный сорт, используемый в настоящее время в США, — *Tropic Sun*. У других сортов накопление токсичной концентрации алкалоидов в биомассе происходит на стадии цветения, через 60 сут после посева, поэтому биомассу растений на силос следует убирать в этот срок (J.E. Garzon с соавт., 2021; J.B. Morris с соавт., 2015). Отмечено, что обрезка побегов до 30 см через 60-100 сут после посева и повторное выращивание в течение 70 сут увеличивают содержание азота в биомассе (A.S. Abdul-Baki с соавт., 2001). В современной системе биологического земледелия в России кроталария также может быть использована в качестве нетрадиционной покровной культуры для армирования почвенного грунта, улучшения плодородия и проведения мероприятий по рекультивации. Ареалом для ее возможного выращивания могут служить южные регионы с теплым умеренным климатом, в частности Краснодарский край, Республики Адыгея и Крым. В семенах культуры найдены полисахариды (галактоманнаны) — биологически активные вещества, обладающие ростостимулирующим действием в отношении других растений (Р.П. Закирова с соавт., 2020). Эти метаболиты, получаемые в результате процесса рафинирования (дегуммирования) растительного масла, извлекаемого из семян, могут быть сопоставимы по качеству с экстрактами семян из другой востребованной в настоящее время однолетней бобовой культуры — гуара (*Cyamopsis tetragonoloba* (L.) Taub) (Е.А. Дзюбенко с соавт., 2023). Вторичные метаболиты, полученные из листьев кроталарии, — богатый источник углеводов, стероидов, тритерпенов, фенолов, флавоноидов, алкалоидов, аминокислот, сапонинов, гликозидов, дубильных веществ и летучих масел (S.K. Dinakaran с соавт., 2011). Таким образом, кроталария ситниковая обладает гипохолестеринемическим, антиоксидантным, антибактериальным, противогрибным, противодиазотным, противовоспалительным, гепатопротекторным и многими другими фармакологическими эффектами. Еще одно практическое применение *C. juncea* — производство экономически выгодного биотоплива (S. Sadhukhan с соавт., 2016).

Ключевые слова: *Crotalaria juncea*, биологическое земледелие, рекультивация, галактоманнаны, камедь, фармакология.

Род *Crotalaria* — один из крупнейших в семействе *Fabaceae* (относится к подсемейству *Papilionoideae*) (1). В настоящее время род входит в трибу *Crotalarieae*, которая включает еще 15 родов, разделенных на три группы (рис. 1).

* Подготовка статьи выполнена при поддержке Госзадания FGEW-2024- 0009.

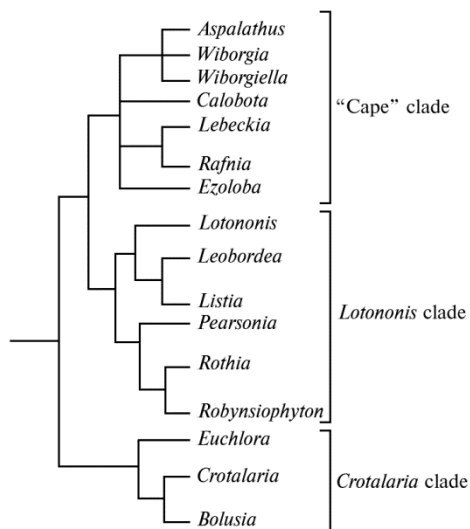


Рис. 1. Филогенетическое древо трибы *Crotalariae* по сочетанию морфологических и молекулярно-генетических синапоморфий (4, 9).

Группа *Crotalaria* состоит из трех родов — *Euchlora*, *Bolusia* и *Crotalaria*. Последний включает более 713 видов однолетних и многолетних растений, распространенных по всему миру (2). К основным центрам биоразнообразия относятся Африка и Индия (около 540 видов), а также Мадагаскар (3-5). В Индии 73 вида ограничены полуостровной территорией (Карнатака, Андхра-Прадеш, Керала и Тамилнад), причем большинство из них встречается в западных штатах (Махараштра, Тамилнад, Карнатака, Керала) (6). Около 15 представителей индийских видов — эндемики, занесенные в Красную книгу растений Индии (7, 8).

В 1753 году Карл Линней (Carl Linnaeus) первым описал 12 видов растений из рода *Crotalaria*: *C. perfoliata*, *C. sagitalis*, *C. juncea*, *C. triflora*, *C. villosa*, *C. verrucosa*, *C. lotifolia*, *C. lunaris*, *C. laburnifolia*, *C. micans*, *C. alba* и *C. quinquefolia* (9). Первая общая классификация видов в роде была сделана Жаном-Батистом Ламарком (Jean-Baptiste Lamarck) в 1786 году. Существующая секционная классификация рода *Crotalaria* основана на морфологических признаках и не полностью согласуется с результатами молекулярно-филогенетических исследований. Среди представителей рода *Crotalaria* есть растения-индикаторы наличия ионов меди и кобальта в среде, способные к их гипераккумуляции (≥ 50 мкг Cu/г сухой биомассы и ≥ 5 мкг Co/г сухой биомассы), — *C. cornetii*, *C. peschiana*, *C. prolongata*, и *C. variegata* (10). Известно, что металлофиты *C. cobalticola* и *C. peschiana* не требуют больших концентраций меди на ранней стадий вегетации и относительно долго могут расти на незагрязненном субстрате (11).

Целью настоящего обзора было обобщение имеющихся в зарубежной научной литературе данных по выращиванию нетипичной для Российской Федерации зернобобовой культуры *Crotalaria juncea*.

Ботаническое описание и распространение вида *Crotalaria juncea*. Растения *C. juncea* выращивали как лубяную культуру в Индии с 600 года до н.э. В 1960-е годы она была основным источником дохода для экономики страны. Видовое название растение получило из-за сходства с метельником ситниковым (*Spartium junceaum* L.) — испанским кустарником Средиземноморья с зелеными побегами и редкими желтыми листьями (12).

C. juncea — прямостоячий кустарниковый однолетник, обычно высотой от 1 до 4 м (13). Стебли до 2 см в диаметре, покрыты опушением. Листья очередные, простые, форма от линейно-эллиптической до продолговато-ланцетной, до 15 см в длину и 3 см в ширину, ярко-зеленого цвета, обычно с острой верхушкой. Прилистники 1-2 мм длиной, стройные. Черешок около 3-5 см в длину. Соцветие — листовидно-супротивная кисть длиной 10-50 см, рыхлая, состоящая из 6-20 цветков. Эффектные цветы в форме бабочки обоеполые, зигоморфные, 5-членные. Если перекрестное опыление отсутствует, происходит самоопыление в результате стимуляции

рыльцевой поверхности насекомыми или ветром (12).

Основными насекомыми-опылителями культуры служат три вида пчел — *Xylocopa fenistroides*, *X. latipies* и *Megachile lanata* (14, 15). Несмотря на то, что цветы посещают также представители видов *Apis florea* и *A. indica*, они не относятся к эффективным опылителям из-за меньшей массы тела. Чашечка пятилопастная, 1,5-2,0 см длиной, покрыта короткими коричневыми волосками. Лопасты в 3-4 раза длиннее трубки. Венчик ярко-желтый, эллиптический, с красноватым оттенком. Тычинки (10 шт.), свободные почти до основания. Прицветники эллиптические, до 3-5 мм в длину. Плод — цилиндрический боб, от 3,0 до 5,5 см длиной, бархатистый, с 6-12 сердцевидными семенами 4-6 мм в диаметре, от темно-коричневой до почти черной окраски. В зависимости от сорта и состояния окружающей среды число семян сильно варьирует от 18000 до 30000 шт/кг урожая (16). Сообщается, что гавайский сорт *Tropic Sun* дает от 30000 до 35000 семян/кг.

Традиционно растение произрастает в странах Азии, особенно в ее тропической части (Бангладеш, Бутан, Индия), однако широко культивируется и в более засушливых районах тропиков и субтропиков, а также в районах с умеренным климатом и жарким летом. *C. juncea* встречается во многих странах Африканского континента от побережья Атлантического океана до Красного моря, от Туниса до Южной Африки и на островах Индийского океана (рис. 2).

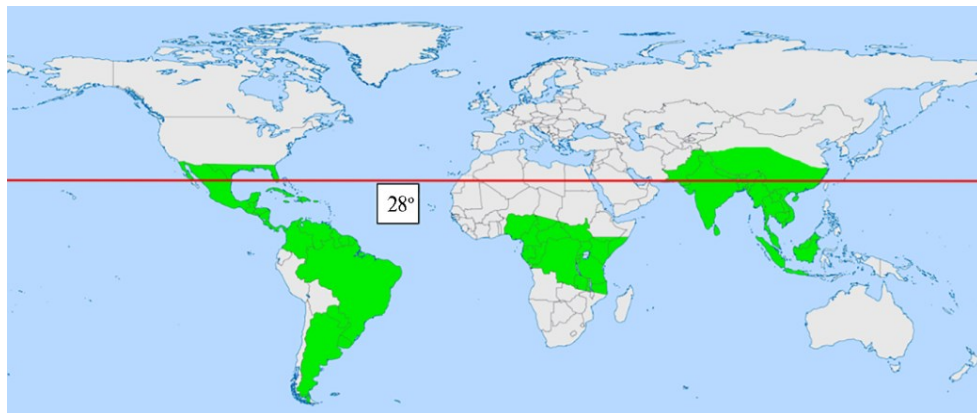


Рис. 2. Географическое распространение культуры *Crotalaria juncea* L. (ареал выделен зеленым цветом).

В Европу вид был завезен в 1791 году и продемонстрировал широкий потенциал для возделывания в качестве покровной и лубяной культуры (6, 17). В настоящее время запущен проект BECOOL (<https://www.becool-project.eu/>) для оценки потенциала выращивания нетрадиционных лигно-целлюлозных культур в диверсифицированных севооборотах на территории Европы (18, 19).

В США растение попало с Гавайских островов, где с 1930-х годов с ним проводились масштабные исследования, и сейчас занимает одно из ведущих мест в списке промежуточных сидератов на юго-востоке страны (Флорида, Техас, Алабама, Оклахома, Джорджия) (20). Его выращивают и на севере (Вашингтон), однако не так интенсивно.

Особенности выращивания *Crotalaria juncea*. Культуру относят к растениям с СЗ-типом метаболизма. Это светолюбивая культура короткого дня (21). Размножается только семенами. Оптимальная температура воздуха для роста составляет 28-32 °С. Оптимальные условия почвы

включают рН от 5,0 до 7,5 и хороший дренаж. Количество осадков в течение вегетационного периода должно составлять 170-200 мм (16).

Кротальярию можно выращивать и как монокультуру, и в бобово-злаковой смеси (22), например вместе с просом (*Pennisetum glaucum* (L.) R.Br.), кукурузой (*Zea mays* L.) или сорго/суданской травой (*Sorghum × drummondii* (Nees ex Steud.) Millsp. & Chase) (рис. 3). Реже культуру выращивают вместе с другими бобовыми — тэфрозией (*Tephrosia vogelii* Hook. f.) и сесбанией (*Sesbania sesban* (L.) Merr.), викой американской (*Aeschynomene americana* L.), вигной китайской (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), индиго мохнатым (*Indigofera hirsuta* L.) и погремушкой тонколистной (*Crotalaria ochroleuca* G. Don) (23).



Рис. 3. Кротальярия (*Crotalaria juncea* L.) (1) и сорго (*Sorghum × drummondii* (Nees ex Steud.) Millsp. & Chase) (2) (photo courtesy of Stacy Swartz and Daniel Calzadilla), выращенные в смеси, через 5 нед после посева (слева), и зрелые корни растений (справа) (26).

Кротальярию рекомендуют высевать сразу после уборки посевов кукурузы и сои. Так земля меньше времени остается под паром и менее подвержена процессам деградации. Было зафиксировано повышенное содержание азота в слое почвы 0-5 см при использовании этой культуры по сравнению с паром (24, 25). Также можно выращивать кукурузу в севообороте непосредственно после кротальярии. Остаточное действие посадок *C. juncea* обеспечивало получение более высоких урожаев кукурузы, большую свежесть колосков с соломой и продуктивность товарных початков по сравнению с контролем (26).

Кротальярия не особо требовательна к плодородию почв, однако на бедных почвах не будет давать такого же количества биомассы, как на богатых. Отмечалось, что культура может не формировать семена севернее 28° параллели. Тем не менее в условиях Российской Федерации кротальярию можно рекомендовать в качестве потенциального кандидата для применения в современной системе биологического земледелия. Как дополнительная нетрадиционная бобовая культура она будет способствовать улучшению здоровья почвенных экосистем (27). Ареалом для возможного выращивания кротальярии в нашей стране могут послужить южные регионы с теплым умеренным климатом, в частности Краснодарский край, Республика Адыгея или Крым.

Научных работ по изучению культивирования и применения кротальярии на территории Российской Федерации в литературе мы не нашли. Известно, что в ФИЦ Всероссийском институте генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР) ранее была собрана коллекция линий кротальярии. Однако сейчас такие эксперименты не проводятся. Последние

исследования по оценке адаптационного потенциала семян *C. juncea* проходили только в 1978-1984 годах и лишь на Кубани.

В чистой культуре для кроталарии рекомендуются ранние сроки посева (с 15 июня по 15 июля) (28, 29). В условиях Республики Узбекистан посевы проводились в первых числах апреля-мая (30). Сроки высева различаются в зависимости от местоположения, однако достаточная влажность почвы и безморозная теплая погода обеспечат быстрое появление всходов и высокую урожайность. Для поздних посевов характерно обильное ветвление. Норма семян при коммерческом посеве составляет около 17,0-34,0 кг/га (31). Посев сплошной, двойными рядами. Для производства волокна в Бразилии и Индии нормы высева увеличивали до 60,0-100,0 кг/га. При снижении плотности посадки кроталарии выявилось уменьшение популяции сорняков (32). Для лучшего прорастания глубина заделки семян должна составлять 2,5 см. Расстояние между растениями в ряду должно быть 10 см. Междурядья необходимы не более 10-20 см. Рекомендовано выращивание до 48-100 растений на 1 м² (33, 34). При производстве бумаги, где требуется тонкое волокна, расстояние между рядами можно увеличить до 30-36 см (21). Увеличение расстояния между рядами приводит к уменьшению диаметра волокна, при этом делает растения восприимчивыми к полеганию, которое сказывается на семенной продуктивности. Плотность посева в целом не влияет на высоту растений, однако непрореженные растения достигают большей высоты и средних показателей биомассы, что может быть связано с увеличением конкуренции за световую энергию. Тем не менее сухая биомасса побегов была больше при более высокой плотности посева (35). Низкая плотность посева способствует увеличению диаметра стебля и числа сформированных боковых побегов. Из-за меньшей конкуренции число ветвей на одно растение здесь больше.

Отчеты о норме применения минеральных удобрений различаются. После прорастания можно вносить удобрения из расчета 30 кг/га в пересчете на N и 40 мг/кг в пересчете на K₂O (22, 36). Фосфор в виде P₂O₅ рекомендуют вносить в дозе 20 кг/кг. Для почв с низким содержанием этого элемента требуется более высокая доза (37, 38). Так, в недавнем исследовании, проведенном в условиях типичных сероземов Ташкентской области, была установлена оптимальная норма внесения удобрений (кг/га) N₁₂₀P₁₆₀K₁₂₀ (39). При достаточной влажности, температуре и плодородии почвы скорость роста растений составляет 14,0-30,0 см/нед, или 2,0-4,3 см/сут.

С целью усиления фиксации атмосферного азота и его еще большего накопления в почве семена кроталарии можно обработать нативными инокулянтами для вигны китайской (*Bradyrhizobium japonicum*, *Rhizobium leguminosarum*) (40, 41). В результате образуется бобово-ризобильная симбиосистема. Выделен особый вид высокоспецифичных ризобий для инокуляции растений кроталарии, относящийся к роду *Methylobacterium* (42) — *M. nodulans*, штамм ORS2060 (43) и близкий к нему штамм СМСJ317 (44). Дополнительное внесение органических удобрений в почву индуцирует развитие популяции *R. leguminosarum* (45). Органические удобрения целесообразно вносить в количестве 3-5 т/га. Увеличение содержания гуминовых и фульвокислот в органическом веществе почвы может оказывать стимулирующий и стабилизирующий эффекты, поскольку эти соединения заметно улучшают рост и повышают титр ризобий.

Для стерилизации семян и стимулирования всхожести рекомендуют

выдерживать их перед посевом в горячей воде (70 °С) в течение 8 ч (46). Также на примере другого вида из рода *Crotalaria* — *C. verrucosa* было показано, что в качестве стерилизующих реагентов можно использовать более агрессивные химические соединения — серную (H₂SO₄) и соляную (HCl) кислоты (47, 48), обеспечивающие более высокую степень элиминации микробиоты в семенном материале. Дополнительное ультрафиолетовое излучение (UV-B) увеличивает активность ферментов (пероксидазы, полифенолоксидазы, супероксиддисмутазы и фенилаланинаммиалиазы) и выработку активных форм кислорода: супероксид, гидроксид-ион, а также перекись водорода. Эти формы чрезвычайно активны и имеют цитотоксическую природу (49). Таким образом, активация роста под воздействием облучения может быть адаптивным механизмом устойчивости растений к воздействию стресса (50).

Для получения волокна кроталарии самого высокого качества сбор урожая должен проводиться в оптимальные сроки. Хотя мнения расходятся, общая рекомендация состоит в том, что он должен осуществляться на стадии зрелого плода, когда растения имеет 40, 60, 80 и 100 % сухих желтых бобов, издающих характерный треск при встряхивании (51). Обычно это 133-155-е сут после полного раскрытия цветка (антезиса). Цветение у растений наступает через 60-71 сут после посева. Иногда минимальный срок от посева до цветения составляет 20-25 сут. Полный период вегетации — 153-226 сут (52). При этом, если выращивать кроталарию слишком долго, лубяные волокна могут одревеснеть, что усложнит их дальнейшую переработку. Было обнаружено, что обрезка побегов до 30 см через 60-100 сут после посева (53-54), а затем повторное выращивание растения в течение 70 сут увеличивает содержание в биомассе азота (54). Оптимальные сроки для выращивания составляют 170 сут.

Урожай собирают механическим способом с помощью комбайна или вручную. На сегодняшний день продуктивность кроталарии во влажных субтропиках изучена слабо (25), а информация по выращиванию в умеренном климате отсутствует (55). По некоторым данным (56), производство зеленой биомассы из *C. juncea* в предмуссонный период в Индии составляло 22-27 т/га. При этом в зависимости от почвенных условий урожай волокна был 0,12-0,60 т/га, а урожай семян — до 10-22 ц/га.

Недавно межнациональным коллективом ученых из стран Италии, Испании и Греции была разработана имитационная модель симулятора под названием SunnGro, показавшая высокую точность прогноза продуктивности кроталарии в разных почвенно-климатических условиях с использованием методов биофизического моделирования (57). Симулятор был основан на поиске эмпирических взаимосвязей между продуктивными/биометрическими признаками и временем сбора урожая. В качестве основы для разработки новых алгоритмов взята ранее созданная модель Arungro для оценки динамики роста растений гигантского тростника (*Arundo donax* L.). Алгоритмическое описание Arungro представлено в статье Т. Stella с соавт. (58), а графическое представление процессов, реализованных в адаптированном модуле SunnGro, приведено на рисунке 4.

Для расчетов и воспроизведения данных по урожайности культуры с учетом внешних лимитирующих факторов использовали результаты многолетних опытов (1999-2018 годы), полученные при различных сроках и плотности посева культуры в трех разных локациях (по одной на каждую

страну) (57).

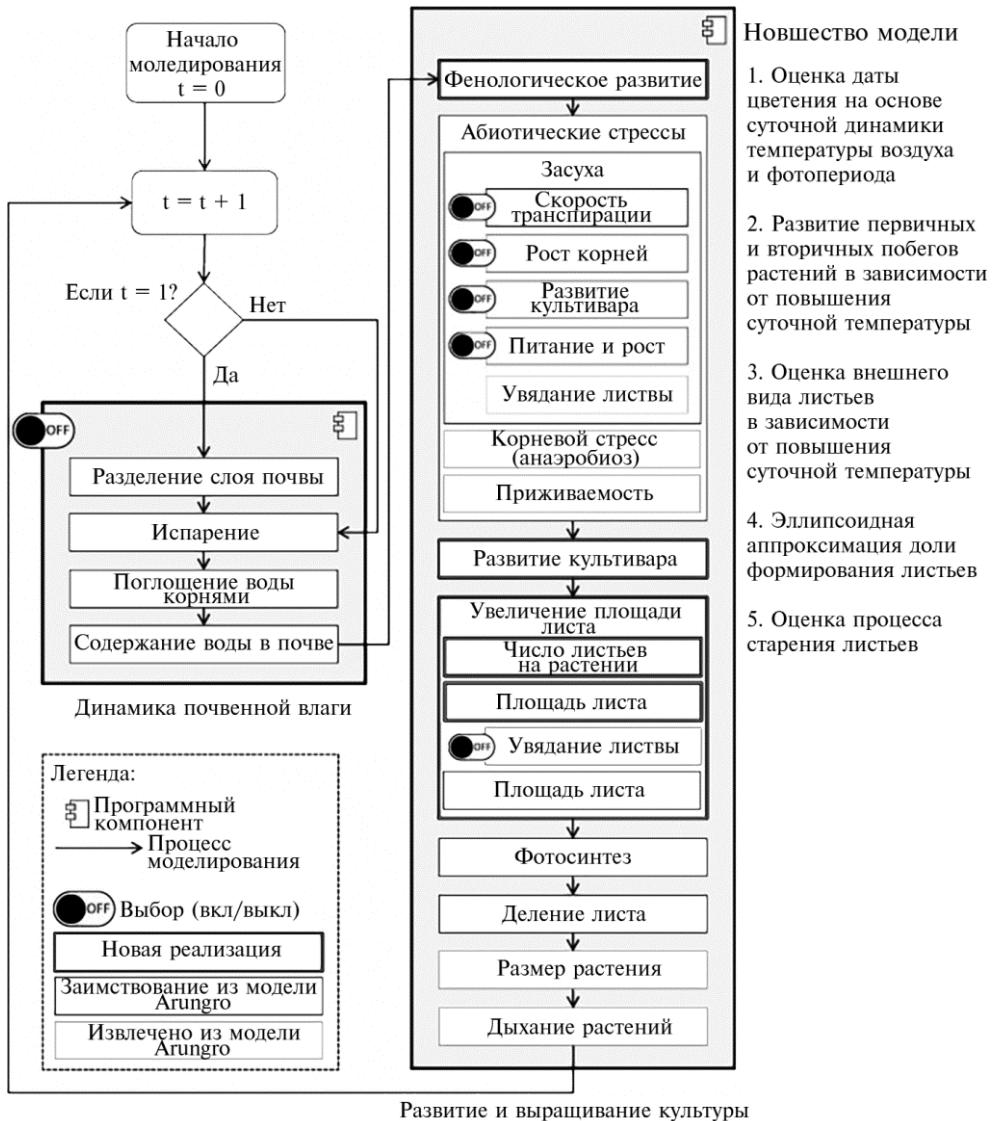


Рис. 4. Блок-схема, отображающая основные процессы моделирования урожайности *Crotalaria juncea* L., заложенные в программе SunnGro. Прямоугольники со светло-серой рамкой обозначают процессы, которые были исключены из исходной реализации модели Agunggo, разработанной для сахарного тростника (57).

Болезни и вредители *Crotalaria juncea*. Из серьезных заболеваний, о которых сообщалось в США, кроталария подвержена антракнозу, вызываемому грибом *Colletotrichum acutatum*. Также растения подвержены мучнистой росе (*Microsphaera diffusa*), корневой и стеблевой гнилям (*Sclerotium rolfsii*) (59). Обработка семян фунгицидами и соблюдение севооборота — это рекомендуемые и чаще всего практикуемые меры борьбы с развитием патологий.

Основные насекомые-вредители *C. juncea* в США — акациевая огневка (*Etiella zinckenella* Treitschke, 1832) и мотылек красавка (*Utetheisa bella* L.) (60). Сообщалось, что во Флориде эти насекомые-вредители нападают на бобы, и семена при этом практически не образуются. В Индии основные насекомые-вредители кроталарии — медведица красноточечная

(*Utethesia pulchella* L.), которая питается листьями и семенными коробочками, и яблонная плодожорка (*Cydia pomonella* Linnaeus, 1758), которая повреждает верхушечные побеги, питаясь там и вызывая чрезмерное ветвление и прекращение апикального роста (61). Из дополнительных насекомых-вредителей, которые, как сообщается, периодически атакуют культуру, выделяют гусениц *Argina astrea* (Drury, 1773) и *Argina syringa* Cramer, 1775, питающихся ее листьями, а также зеленого овощного клопа *Nezara viridula* L. (60). Как и в случае борьбы с заболеваниями, к основным защитным мероприятием относится обработка посевов инсектицидами. Также во избежание всплеск размножения вредителей и распространения болезней культуры рекомендуется возвращать в севооборот не раньше чем через 3 года.

Хозяйственное значение и использование вида *Crotalaria juncea*. *C. juncea* — культура многоцелевого назначения. Из всех видов рода только кроталария ситниковая выращивается для получения волокна, сбор которого составляет около 8 % от сухой биомассы стебля (6, 17). Волокно содержит 10,0 % влаги, 67,8 % целлюлозы, 16,6 % гемицеллюлозы, 3,5 % лигнина, 0,3 % пектина, 1,4 % водорастворимых веществ и 0,4 % жира и воска. Наноцеллюлозу различной морфологии экстрагируют из биомассы методом кислотного гидролиза. Самый высокий выход (94,83 %) был получен при использовании 32 % раствора H₂SO₄, самый низкий выход (12,03 %) — при применении 72 % раствора H₂SO₄. Однако в последнем случае продукт обладал самой высокой термостабильностью среди других морфологий наноцеллюлозы (62).

Волокно кроталарии классифицируют как мягкое и используют в основном при производстве сигаретной бумаги, рыболовных сетей, мешков и канатов (21, 56, 61). По степени прочности оно превосходит джутовое, но уступает льняному, волокну агавы (сизаль) и текстильного банана (манильская пенька, или абака) (63). Было обнаружено, что диаметр базального побега и высота растения в значительной степени коррелируют с выходом волокна. Самое толстое волокно обычно находится в середине стебля (64, 65). В коммерческих оранжереях и теплицах штата Техас проводятся исследования по оценке возможности получения и использования более коротких сердцевинных волокон при выращивании растений в беспочвенной горшечной культуре. Волокно может превосходить кенаф (*Hibiscus cannabinus* L.) по длине и ширине луба. К тому же, в отличие от *H. cannabinus*, *C. juncea* можно выращивать на почвах, зараженных галловой нематодой (6). Более того, вид рекомендован в качестве предшественника культур, склонных к поражению этими паразитами (картофель, табак, соя и т.д.) (66). Культура проявляет нематодостатическую активность в отношении *Meloidogyne* spp. (67-70), *Heterodera glycines* и *Rotylenchulus reniformis* (71, 72). Выявлена достоверная зависимость между положительной микотрофностью и увеличением устойчивости растений к видам *Meloidogyne javanica* и *M. incognita* в результате инокуляции культуры арбускулярным микоризным грибом (*Glomus intrradices*) (73).

Вследствие использования сплошной системы возделывания риса и пшеницы с высокими дозами неорганических удобрений агроэкосистема почв нарушается, требуется интегрирование бобовых растений как сидератов в севообороты. Известно, что адаптированные тропические бобовые растения накапливают большее количество сухой биомассы, азота и калия в почве из расчета на 1 га (74-77) по сравнению с другими видами озимых бобовых уже в виргинильный период онтогенеза (35-60 сут) (28, 59, 78).

Показано, что выращивание кроталарии существенно увеличивает урожайность последующих культур — риса, пшеницы, ржи и кукурузы в севообороте: (56, 76, 79-81). *C. juncea* также была предложена в качестве зеленого удобрения для производства органической клубники (82). Изучение культуры с позиции зеленого удобрения на разных культурах выявило значительную положительную корреляцию между высотой растения, зеленой и сухой биомассой и количеством корневых клубеньков (83).

Из-за нехватки земли выращивание кормовых культур не привлекает многих индийских фермеров, поэтому владельцы крупного рогатого скота в Индии зависят от дорогостоящих концентратов (84). При этом питательная ценность кроталарии ничуть не меньше, чем клевера и люцерны (85, 86). Ее сено содержит значительное количество белка (от 18 до 22 %). Однако из-за наличия в сухой биомассе алкалоидов (триходезмин, джунсеин, апигенин-7-4'-0-диглюкозид, апигенин-7-глюкуронид, лектин, сенеционин, сенецифиллин и монокроталин) культура ограничено используется на силос (не более 10 % от получаемого объема). Токсичные алкалоиды содержатся в виде свободных оснований в семенах и побегах, поэтому их включение в рацион животных требует особого подхода и отдельного изучения (87-89). Семена растений также могут содержать токсичные аминокислоты (α -амино- β -оксиаминопропионовую, α -аминоксиламиномасляную и/или α,γ -диаминомасляную) (87, 88). При попадании токсикантов в организм животного они приводят к отказу от приема пищи и общей потере в массе, развитию повышенной возбудимости, к хромоте и постоянной диарее. У лошадей могут развиваться тенезмы, реже аденоматоз легких и сильная одышка. У свиней возникает нефроз. У овец происходит выпадение шерсти, становится затрудненным дыхание (90, 91).

Основной нетоксичный сорт кроталарии, используемый в настоящее время в США, — *Topic Sun*, созданный в 1983 году. У других сортов накопление токсичной концентрации алкалоидов в биомассе происходит на стадии цветения, через 45-60 сут после посева (92, 93). Чтобы удовлетворить потребности большинства категорий домашнего скота и избежать отравляющего воздействия указанных соединений, биомассу растений на силос следует собирать в установленный срок (53).

Один из алкалоидов, выделенных из растений, — кемпферитрин как флавонолгликозид демонстрировал в эксперименте с бактериальными биопленками противомикробные свойства в отношении грамположительной болезнетворной бактерии из группы стафилококков *Staphylococcus aureus* (94). Водные экстракты растения облают аллелопатическим действием в отношении сорняков (95-98). Причем экстракты из побегов на 4-й нед роста оказывали более сильное ингибирующее воздействие, снижая численность злаковых и широколиственных сорняков, а также осоки, чем экстракты, полученные в более поздний период вегетации (97).

C. juncea обладает определенным потенциалом устойчивости к воздействию тяжелых металлов, в частности толерантностью к накоплению ионов кадмия, никеля и хрома (99-102). В определенной степени она может использоваться в технологии фиторекультивации (фитоэкстракции) техногенно нарушенных земель (74, 103). Фитоэкстракцию кадмия у культуры можно значительно увеличить при инокуляции устойчивыми к токсиканту штаммами ризобактерий из рода *Streptomyces* (104).

Семена *C. juncea* содержат 45,2 % углеводов, 36,4 % белка, 4,2 % жиров, 10,8 % влаги и 3,3 % золы. Также присутствует небольшая доля (до

0,1 %) токсичных дегидропирролизидиновых алкалоидов (105). Получаемые в результате дегуммирования семенного масла полисахариды (галактоманнаны) могут быть использованы в качестве физиологически активных соединений, обладающих ростостимулирующим действием, при экзогенной обработке других растений, в частности злаков (106). Их дальнейшая очистка в процессе преципитации ведет к образованию вязкого коллоидного раствора — камеди. Это растительное сырье может использоваться в качестве натуральной пищевой добавки либо служить загустителем (стабилизатором) в дополнение к такому же высокомолекулярному соединению, экстрагируемому из другой нетрадиционной для России зернобобовой культуры — гуара (*Cyatopsis tetragonoloba* (L.) Taub) и используемому в горной промышленности при разрыве нефтепластов (107).

Вид может применяться в фармакологии и медицине (108). Семена используют для очищения крови, лечения импетиго, псориаза и других кожных заболеваний, а также как стимулятор менструального цикла. Сок из листьев применяют для снятия отеков и лечения проказы. В индийской народной медицине (аюрведе) листья используются как рвотное, слабительное, abortивное и болеутоляющее средство, а также для лечения диареи и нарушений свертываемости крови. Цветы кроталарии полезны при лечении гонореи и болезней крови (108).

Вторичные метаболиты, выделяемые из листьев, цветков и семян кроталарии, служат богатым источником углеводов, стероидов, тритерпенов, фенолов, флавоноидов, сапонинов, гликозидов, дубильных веществ, антрахинонов, хебуловой, эллаговой, галловой, хебулиновых кислот и летучих масел (109). Растение обладает гипополидемическим, антиоксидантным, антибактериальным, противогрибным, противодиарейным, противовоспалительным, гепатопротекторным, гипополидемическим и фармакологическим эффектами. Можно отдельно выделить результаты опытов по оценке антибактериальной активности спиртовых экстрактов из семян и цветков *C. juncea* против *Citrobacter freundii*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Shigella flexneri*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella dysenteriae* и *Vibrio cholerae* при выращивании на агаризованной среде. Показано, что этанольный экстракт из семян обладал более высокими антибактериальными действиями, чем экстракт из цветков (110). Зона ингибирования роста варьировала от 14,00 до 18,00 мм. Хотя результаты были положительными, все же они оказались хуже, чем у ципрофлоксацина, использованного в эксперименте в качестве стандарта (111).

Обнаружена высокая активность соединений, экстрагированных из семян в натрий-фосфатном буфере, в отношении бактериального патогена *Xanthomonas oxanopodis* pv. *punicae* (112). Анализ антифунгальной активности *in vitro* позволил обнаружить в семенах пептиды cJ-AFP и cP-AMP, которые способны ингибировать развитие мицелиальных грибов *Fusarium oxysporium* (113, 114). Эти белки подвергали анализу аминокислотной последовательности *de novo*, не обнаружив гомологии с существующими белками в банке данных. Открытие этих пептидов в ближайшем будущем может способствовать разработке биотехнологических продуктов — трансгенных растений, устойчивых к грибным заболеваниям.

Еще одно практическое применение *C. juncea* заключается в производстве дешевого биотоплива из семенного масла (115). Отмечено, что переработка в анаэробных условиях коровьего навоза с добавкой 20 % кроталарии в виде исходного сырья служит потенциальным источником

дополнительного получения биогаза (116). Поскольку растительное волокно состоит из лигноцеллюлозной биомассы и плохо поддается микробной трансформации, необходима предварительная щелочная обработка (117). Щелочь разрушает лигнин, нейтрализует кислотность биомассы и увеличивает выход метана (СН₄). Первое место в отношении щелочной эффективности разложения сельскохозяйственных отходов занимает гидроксид натрия (116). Показано, что при обработке растительного сырья перед сбраживанием выход СН₄ на 89 % выше, чем без обработки (115).

Дальнейшие перспективы исследования культуры. В современном мире растет потребность в производстве волокна и развитии технологии органического земледелия. Поскольку кроталария может выращиваться в больших коммерческих масштабах как покровная и лубяная культура (118), во многих странах мира идет процесс ее постепенной интродукции в диверсифицированные севообороты в качестве сидеральной культуры для улучшения здоровья почвенных экосистем и уменьшения численности галловых нематод. Эффективным агротехническим приемом, повышающим адаптацию культуры к условиям определенной почвенно-климатической зоны, может служить использование биопрепаратов на основе консорциума полезных микроорганизмов — клубеньковых и ассоциативных ризобактерий, а также грибов арбускулярной микоризы. В результате создания бобовой симбиосистемы улучшается минеральное питание и толерантность макросимбионта к воздействию различных стрессов (119, 120).

Значительные усилия должны быть сосредоточены на расширении научных исследований и разработок по интродукции культуры в различные агроклиматические зоны нашей страны. Сдерживающим фактором пока остается высокая стоимость семенного материала — 4,5 доллара США за 1 кг.

Как культура многоцелевого использования кроталария представляет интерес в качестве сырья для производства волокна высокого качества, источника лигнитцеллюлозы при получении биотоплива, зеленого удобрения (сидерата). Оценивается возможность использования кроталарии на корм скоту и как растения-фиторемедиатора, аккумулирующего в зеленой биомассе токсикутанты из почвенной экосистемы при ее постепенной фито-рекультивации (санации).

В отдельное направление можно выделить фармацевтическое использование культуры. В этом случае допустимо культивирование растений и в открытом, и в защищенном грунте (на беспочвенных субстратах) с минимальным применением минеральных удобрений, гербицидов и прочих химических средств защиты, но с применением органических регуляторов роста и микробных биопрепаратов. Подавляющее большинство алкалоидов, обнаруженных у представителей рода *Crotalaria*, еще предстоит исследовать как для оценки их фармакодинамических свойств, так и при разработке новых лекарств на их основе (121).

Информация по аспектам генетической изменчивости культуры пока ограничена. В последние годы проведены генетические и селекционные исследования кроталарии, выращиваемой в Бразилии (121-124). Поскольку процесс опыления у культуры, как правило, можно контролировать, результаты данных исследований указывают на возможность использования гетерозиса.

Банк зародышевой плазмы может использоваться для поддержания генетической чистоты культуры и селекции более устойчивых линии

и сортов с помощью микрклонального размножения с последующим выращиванием в условиях микроклимата, создаваемого в оранжереях (122). Однако прежде чем предпринимать такие попытки, необходимо изучить варибельность хромосомного набора у изучаемых сортов *C. juncea*, особенно их плоидность, чтобы получить больше фертильных гибридов с высокой плодовитостью. Кроме того, методы культивирования полученных проростков должны быть стандартизированы для различных систем гидропоники (хемо-, агрегато-, и ионопоника).

Таким образом, на основании обобщения и анализа массива данных впервые в отечественной научной литературе описаны особенности физиологии и условий возделывания нетрадиционной для Российской Федерации зернобобовой культуры кроталарии ситниковой. Культура может выращиваться в южных регионах как промежуточная, использоваться при создании новых диверсифицированных севооборотов, служит сырьем для получения камеди из семян (в качестве аналога гуара или в дополнение к нему). Сдерживающими факторами при выращивании этой тропической культуры в почвенно-климатических условиях России пока остается недостаток тепла, а в некоторых местах и влагообеспеченности, фотопериод, наличие патогенов в почве и отсутствие в ней азотфиксирующих микросимбионтов. Частично эти проблемы можно устранить за счет применения в открытом грунте биопрепаратов на основе консорциума полезных штаммов клубеньковых и ассоциативных ризобактерий, комплементарных для рода *Crotalaria*. Также в качестве физиологически активных веществ, стимулирующих рост растений, можно применять органические добавки — соединения на основе гумусовых кислот различного происхождения (торф, уголь, сапрпель, зоогу-мус и др.). Однако решающую роль в создании устойчивых бобово-ризобильных симбиосистем на основе кроталарии ситниковой играет ее генотип. Пока основными поставщиками семян культуры для стран Запада служат Индия, Африка и Пакистан. Среди перспективных для исследования сортов выделяют гавайский сорт *Tropic Sun*. Для снижения зависимости от импорта и возделывания кроталарии в России целесообразно создавать собственные сорта, которые будут обладать всеми необходимыми биологическими и хозяйственными признаками. Растение можно адаптировать для выращивания на семенные цели в сооружениях закрытого типа (теплицы, парники), оборудованных нейронным зрением с системой автоматического контроля за их ростовыми параметрами. В горшечной культуре можно обойтись без использования почвы, тем самым убрав эффект лимитирующего влияния ее матрикса и процессов адсорбции на развитие растения и усвоение ими питательных веществ из субстратов. В качестве твердых подложек, заменяющих почву, используются минеральная вата, кокосовый субстрат, цеолит, вермикулит и прочие нейтральные субстраты. Возможно, в таких фитотехкомплексах растения кроталарии ситниковой будут более низкорослыми из-за сокращения длины междоузлий, однако за счет точного контроля микроклимата в помещении они смогут уверенно формировать бобы.

¹ФГБНУ Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии,

196608 Россия, г. Санкт-Петербург—Пушкин, ш. Подбельского, 3,
e-mail: puhalskyan@gmail.com ✉, nik.ivanvorobyov@yandex.ru,
kullavayn@gmail.com, kojemyakov@rambler.ru, laktionov@list.ru;

²ГАОУ ВО ЛО Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина,

196605 Россия, г. Санкт-Петербург—Пушкин, Петербургское ш., 10,
e-mail: lislosk@mail.ru, gorodnovalarisa@gmail.com, uchhoz@mail.lengu.ru;

*Поступила в редакцию
26 сентября 2023 года*

³Всероссийский НИИ пищевых добавок —
филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН,
191014 Россия, г. Санкт-Петербург, Литейный просп., 55;
⁴ФГБВОУ ВО Военно-медицинская академия
им. С.М. Кирова МО РФ,
194044 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6,
e-mail: glushakoffruslan@yandex.ru;
⁵ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский государственный
педиатрический медицинский университет,
194100 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2. лит. В.;
⁶ФГБУН Научно-исследовательский институт
сельского хозяйства Крыма,
295034 Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 150,
e-mail yakubovskaya_alla@mail.ru

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2024, V. 59, № 1, pp. 3-21

Crotalaria juncea L., A NEW LEGUME CROP FOR CULTIVATION IN RUSSIA: CHARACTERIZATION AND PROSPECTS (review)

J.V. Pukhalky^{1, 2, 3}✉, N.I. Vorobyov¹, S.I. Loskutov^{2, 3}, R.I. Glushakov^{4, 5},
Yu.V. Kosulnikov¹, A.I. Yakubovskaya⁶, G.V. Nikiticheva², L.A. Gorodnova²,
A.P. Kozhemyakov¹, Yu.V. Laktionov¹

¹All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, 3, sh. Podbel'skogo, St. Petersburg, 196608 Russia, e-mail puhalskyan@gmail.com (✉ corresponding author), kullavayn@gmail.com, kojemyakov@rambler.ru, laktionov@list.ru;
²Pushkin Leningrad State University, 10, Petersburgskoe sh., St. Petersburg, Pushkin, 196605 Russia, e-mail lislosk@mail.ru, gorodnovalarisa@gmail.com, uchhoz@mail.lengu.ru;

³All-Russian Research Institute for food additives, Branch of the Gorbatova Federal Scientific Center for Food Systems RAS, 55, Liteiny prosp., St. Petersburg, 191014 Russia;

⁴Kirov Military Medical Academy, 6, ul. Akademika Lebedeva, St. Petersburg, 194044 Russia, e-mail: glushakoffruslan@yandex.ru;

⁵Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2/litera B, ul. Litovskaya, St. Petersburg, 194100 Russia;

⁶Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, ul. Kievskaya, Simferopol, 295043 Russia, e-mail yakubovskaya_alla@mail.ru
ORCID:

Pukhalky J.V. orcid.org/0000-0001-5233-3497

Vorobyov N.I. orcid.org/0000-0001-8300-2287

Loskutov S.I. orcid.org/0000-0002-8102-2900

Glushakov R.I. orcid.org/0000-0002-0161-5977

Kosulnikov Yu.V. orcid.org/0000-0003-1134-3503

Yakubovskaya A.I. orcid.org/0009-0001-8434-2689

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

Supported by State Assignment FGEW-2024- 0009

Final revision received September 26, 2023

Accepted October 23, 2023

Nikiticheva G.V. orcid.org/0009-0003-0229-3994

Gorodnova L.A. orcid.org/0009-0002-3767-4562

Kozhemyakov A.P. orcid.org/0000-0002-9657-2454

Laktionov Yu.V. orcid.org/0000-0001-6241-0273

doi: 10.15389/agrobiology.2024.1.3eng

Abstract

Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) is a multi-purpose annual legume plant. This is the oldest bast crop grown in tropical regions for fiber (H.R. Bhandari et al., 2016; 2022). In 1791, the plant was brought to Europe where it is cultivated as an alternative green manure crop. *Crotalaria* has been shown to produce sufficient dry matter to cover and protect the soil from potential erosion, as well as providing nitrogen in amounts useful for subsequent harvests of crops in a diversified crop rotation (D. Scott et al., 2022, A.P. Barros et al., 2022). In the United States, the plant occupies one of the leading places in the list of intermediate cover crops. Dry green biomass contains from 18 to 22 % protein, but can only be used in limited quantities for livestock feed (< 10 % of the silage produced), since sunn hemp during flowering accumulates the toxic alkaloid monocrotaline. The sunn hemp seeds are up to 35–40 % protein, and also contain a small amount (up to 0.1 %) of toxic dehydropyrrolizidine alkaloids (trichodesmine, junseine, apigenin-7-4'-0-diglucoside, apigenin-7-glucuronide, lectin, senecionin and seneciphylline) and amino acids (alpha-amino-beta-oxylaminopropionic, alpha-aminooxylaminobutyric and/or alpha.gamma-diaminobutyric) (V.B. Malashetty et al., 2015; F. Prada et al., 2020). Their use in animal feeding requires special attention and is, if possible, undesirable. The main non-toxic variety currently used in the United States is Tropic Sun. In other varieties, the accumulation of toxic concentrations of alkaloids in the biomass occurs at flowering, so plant biomass for silage should be harvested 60 days after sowing (J.E. Garzon et al., 2021; J.B. Morris et al., 2015). It was noted that pruning shoots to 30 cm 60–100 days after sowing and re-growing for 70 days increases the

nitrogen content in the biomass (A.S. Abdul-Baki et al., 2001). In Russia, crotalaria can be an unconventional cover crop in biological farming to reinforce the soil, improve fertility and for reclamation. The area for sunn hemp cultivation may be southern regions, in particular the Krasnodar Territory, the Republic of Adygea and Crimea. Polysaccharides (galactomannans) from the sunn hemp seeds are bioactive growth stimulant for other plants (R.P. Zakirova et al., 2020). These metabolites, obtained as a result of the refining (degumming) process of vegetable oil extracted from seeds, can be comparable in quality to seed extracts from guar (*Cyamopsis tetragonolaba* (L.) Taub) – another currently in demand annual legume crop (E.A Dzyubenko et al., 2023). Secondary metabolites extracted from *Crotalaria* leaves are a rich source of carbohydrates, steroids, triterpenes, phenols, flavonoids, alkaloids, amino acids, saponins, glycosides, tannins and volatile oils (S.K. Dinakaran et al., 2011). Thus, *C. juncea* has hypolipidemic, antioxidant, antibacterial, antifungal, antidiarrheal, anti-inflammatory, hepatoprotective and many other pharmacological effects. Another practical application of *C. juncea* is the production of cost-effective biofuels (S. Sadhukhan et al., 2016).

Keywords: *Crotalaria juncea*, biological farming, recultivation, galactomannans, natural gum, pharmacology.

REFERENCES

1. *Legumes of the world*. G. Lewis, B. Schrire, B. MacKinder, M. Lock (eds.). Royal botanical gardens, Kew, 2005.
2. *Crotalaria juncea* L. Plants of the world online. Facilitated by the Royal Botanic Gardens, Kew. Available: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:322601-2>. No date.
3. Le Roux M.M., Boatwright J.S., van Wyk B.-E. A global infrageneric classification system for the genus *Crotalaria* (*Leguminosae*) based on molecular and morphological evidence. *Taxon*, 2013, 62(5): 957-971 (doi: 10.12705/625.1).
4. Subramaniam S., Pandey A.K. Taxonomy and phylogeny of the genus *Crotalaria* (*Fabaceae*): an overview. *Acta Biologica Indica*, 2013, 2(1): 253-264.
5. Polhill R.M. *Crotalaria in Africa and Madagascar*. CRC Press, Florida, 1982.
6. Bhandari H.R., Shivakumar K.V., Kar C.S., Bera A., Meena J.K. Sunn hemp: a climate-smart crop. In: *Developing climate resilient grain and forage legumes*. U.C. Jha, H. Nayyar, S.K. Agrawal, K.H.M. Siddique (eds.). Springer, Singapore, 2022: 277-296 (doi: 10.1007/978-981-16-9848-4_13).
7. *Red data book of Indian plants*. M.P. Nayar, A.R.K. Sastry (eds.). Calcutta, 1987.
8. Subramaniam S., Pandey A.K., Geeta R., Mort M.E. Molecular systematics of Indian *Crotalaria* (*Fabaceae*) based on analyses of nuclear ribosomal ITS DNA sequences. *Plant Systematics and Evolution*, 2013, 299: 1089-1106 (doi: 10.1007/s00606-013-0781-2).
9. Yaradua S.S. A review of the genus *Crotalaria* L. (*Crotalariaeae*, *Fabaceae*). *Int. J. Sci. Res. Publ.*, 2018, 8(6): 316-321 (doi: 10.29322/IJSRP.8.6.2018.p7840).
10. Brooks R.R., McCleave J.A., Malaisse F. Copper and cobalt in African species of *Crotalaria* L. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences.*, 1977, 197(1127): 231-236
11. Boisson S., Le Stradic S., Commans M., Dumont A., Leclerc N., Thomas C., Mahy G. Copper tolerance of three *Crotalaria* species from southeastern D.R. Congo at the early development stage. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 2016, 20(2): 151-160 (doi: 10.25518/1780-4507.12836).
12. Kundu B.C. Sunn-hemp in India. *Proc. Soil Crop Soc.*, 1964, 24: 396-404.
13. *Crotalaria juncea* L. In: *PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale)* /M. Brink, E.G. Achigan-Dako (eds.). Wageningen, The Netherlands, 2011.
14. Abrol D.P. Insect pollination and crop production in Jammu and Kashmir. *Curr. Sci.*, 1993, 65(3): 265-269.
15. Free J.B. *Insect pollination of crops*. Academic Press, London—New York, 1970.
16. Dempsey J.M. Fiber crops. The University Presses of Florida, Gainesville, Florida, 1975.
17. Bhandari H.R., Tripathi M.K., Babira C., Sarker S.K. Sunnhemp breeding: challenges and prospects. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2016, 86(11): 1391-1398 (doi: 10.56093/ijas.v86i11.62879).
18. Scott D., Freckleton R.P. Crop diversification and parasitic weed abundance: a global meta-analysis. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 19413 (doi: 10.1038/s41598-022-24047-2).
19. Barros A.P., de Carvalho Silva A., de Souza Abboud A.C., Ricalde M.P., Ataíde J.O. Effect of *Cosmos*, *Crotalaria*, *Foeniculum*, and *Canavalia* species, single-cropped or mixes, on the community of predatory arthropods. *Scientific Reports*, 2022, 12: 16013 (doi: 10.1038/s41598-022-20188-6).
20. Bhardwaj H.L., Webber C.L., Sakamoto G.S. Cultivation of kenaf and sunn hemp in the mid-Atlantic United States. *Industrial Crops and Products*, 2005, 22(2): 151-155 (doi: 10.1016/j.indcrop.2004.08.002).
21. White G.A., Haun J.R. Growing *Crotalaria juncea*, a multi-purpose fiber legume, for paper pulp. *Economic Botany*, 1965, 19: 175-183 (doi: 10.1007/BF02862829).

22. Fall T., Freidenreich A., Swartz S.M., Vincent C.I., Li Y., Brym Z. Questions and answers for using sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) as a green manure cover crop. *EDIS*, 2020, 5: 1-4 (doi: 10.32473/edis-ag443-2020).
23. Desaegeer J., Rao M.R. The potential of mixed covers of *Sesbania*, *Tephrosia* and *Crotalaria* to minimise nematode problems on subsequent crops. *Field Crops Research*, 2001, 70(2): 111-125 (doi: 10.1016/S0378-4290(01)00127-7).
24. Garcia R.A., Li Y., Rosolem C.A. Soil organic matter and physical attributes affected by crop rotation under no-till. *Soil Science Society of America Journal*, 2013, 77(5): 1724-1731 (doi: 10.2136/sssaj2012.0310).
25. Schomberg H.H., Martini N.L., Diaz-Perez J.C., Phatak S.C., Balkcom K.S., Bhardwaj H.L. Potential for using sunn hemp as a source of biomass and nitrogen for the piedmont and coastal plain regions of the Southeastern USA. *Agronomy Journal*, 2007, 99(6): 1448-1457 (doi: 10.2134/agronj2006.0294).
26. Colombo J.N., Puiatti M., Santos R.H.S., dos S. Dias L.A., Silvestre H.C. Successive crops of broccoli, green corn and pea after taro (*Colocasia esculenta*)-sunn hemp (*Crotalaria juncea*) consortium. *Acta Agronomica*, 2021, 69(4): 331-338 (doi: 10.15446/acag.v69n4.61794).
27. Bhardwaj K.K.R., Datt N. Effects of legume green-manuring on nitrogen mineralization and some microbiological properties in an acid rice soil. *Biology and Fertility of Soils.*, 1995, 19(1): 19-21 (doi: 10.1007/BF00336341).
28. Stute J.K., Shekinah D.E. Planting date and biculture affect sunn hemp productivity in the Midwest. *Sustainable Agriculture Research*, 2019, 8: 26-35 (doi: 10.5539/sar.v8n2p26).
29. Cook C.G., Scott A.W., Chow P. Planting date and cultivar effects on growth and stalk yield of sunn hemp. *Industrial Crops and Products*, 1998, 8(2): 89-95 (doi: 10.1016/S0926-6690(97)10013-9).
30. Negmatova S.T., Nurullaeva M.Sh. Effectiveness of introducing crotalaria plant into the crop rotation system. *Science and Innovation International Scientific Journal*, 2022, 1(4): 212-228 (doi: 10.5281/zenodo.698160) (uzbek.).
31. Balkcom K.S., Massey J.M., Mosjidis J.A., Price A.J., Enloe S.F. Planting date and seeding rate effects on sunn hemp biomass and nitrogen production for a winter cover crop. *International Journal of Agronomy*, 2011, 2011: 237510 (doi: 10.1155/2011/237510).
32. Morris J.B., Chase C., Treadwell D., Koenig R., Cho A., Morales-Payan J.P., Murphy T., Antonious G.F. Effect of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) cutting date and planting density on weed suppression in Georgia, USA. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 2015, 50(8): 614-621 (doi: 10.1080/03601234.2015.1028855).
33. de Oliveira M.N., de Morais S.V.G.M., e Costa M.I.G., de Bezerra G.G. Biomass of *Crotalaria juncea* asa function of plant densities in the semiarid region of Northeastern Brazil. *Agronomia Colombiana*, 2020, 38(1): 148-155 (doi: 10.15446/agron.colomb.v38n1.78957).
34. Dzvene A.R., Tesfahuney W.A., Walker S., Ceronio G. Planting time and stand density effect on radiation interception and use efficiency of maize and sunn hemp intercropping in semi-arid South Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2023, 341: 109690 (doi: 10.1016/j.agrformet.2023.109690).
35. Teodoro M.S., Santos F.J.S., Lacerda M.N., Araújo L.M.S. Biomass yield of *Crotalaria juncea* after thinning and at varied sowing densities in the coastal plateau of Piauí state, Brazil. *Revista Caatinga*, 2016, 29(4): 878-884 (doi: 10.1590/1983-21252016v29n412rc).
36. Chaudhury J., Singh D.P., Hazra S.K. Sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.). Central Research Institute for Jute & Allied Fibers (ICAR), n.d. Web. 18 May 2012. <http://assamagribusiness.nic.in/Sunnhemp.pdf>.
37. Rengalakshmi R., Purshothaman S. Plant spacing and phosphorus fertilization on seed production of *Crotalaria juncea* L. *Madras Agricultural Journal*, 1999, 86(1/3): 103-105.
38. Ulemale R.B., Giri D.G., Shivankar R.S., Patil V.N. Effect of sowing dates, row spacings and phosphorous levels on yield and yield attributes of sunnhemp (*Crotalaria juncea* L). *Legume Research*, 2002, 25(4): 273-275.
39. Makhmudov U., Nuritdinovna D. *Science and Innovation international scientific journal*, 2023, Special Issue "ACTUAL ISSUES OF AGRICULTURAL DEVELOPMENT: PROBLEMS AND SOLUTIONS": 639-640 (doi: 10.5281/zenodo.8002813) (in Russ.).
40. Maheshwari N.K., Singh R.P., Manchanda G., Dubey R.C., Maheshwari D.K. Sunn hemp (*Crotalaria juncea*) nodulating bacteriacapable for high antagonistic potential and plant growth promotion attributes. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2020, 10: 1-7 (doi: 10.15414/jmbfs.2020.10.3.385-389).
41. Castellano-Hinojosa A., Mora C., Strauss S.L. Native *Rhizobia* improve plant growth, fix N₂, and reduce greenhouse emissions of sunnhemp more than commercial *Rhizobia* inoculants in Florida citrus orchards. *Plants*, 2022, 11(22): 3011 (doi: 10.3390/plants11223011).
42. Sy A., Giraud É., Samba R., Lajudie P. de Gillis M., Dreyfus B. Certaines légumineuses du genre *Crotalaria* sont spécifiquement nodulées par une nouvelle espèce de *Methylobacterium*. *Canadian Journal of Microbiology*, 2001, 47(6): 503-508 (doi: 10.1139/w01-044).
43. Sy A., Giraud E., Jourand P., Garcia N., Willems A., de Lajudie P., Prin Y., Neyra M., Gillis M.,

- Boivin-Masson C., Dreyfus B. Methylo-trophic Methylobacterium bacteria nodulate and fix nitrogen in symbiosis with legumes. *Journal of Bacteriology*, 2001, 183(1): 214-220 (doi: 10.1128/JB.183.1.214-220.2001).
44. Madhaiyan M., Poonguzhali S., Senthilkumar M., Sundaram S., Sa T. Nodulation and plant-growth promotion by methylo-trophic bacteria isolated from tropical legumes. *Microbiological Research*, 2009, 164(1): 114-120 (doi: 10.1016/j.micres.2006.08.009).
 45. Maitra D.N., Sarkar S.K., Saha S., Tripathi M.K., Majumder B., Saha A.R. Effect of phosphorus and farmyard manure applied to sunn hemp (*Crotalaria juncea*) on yield and nutrient uptake of sunn hemp-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system and fertility status in Typic Ustocrept of Uttar Pradesh. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 2008, 78(1): 70-74.
 46. Rajendraprasad S., Masilamani P., Balakrishnan K. Effect of pre-sowing seed treatments on dormancy of sunn hemp (*Crotalaria juncea*). *Seed Research*, 2017, 45(2): 136-140.
 47. Okonwu K., Eboh I.G. Effects of seed treatment on the germination of *Crotalaria verrucosa* L. *Journal of Applied Life Sciences International*, 2017, 10(2): 1-8 (doi: 10.9734/JALSI/2017/31027).
 48. Silaeva O.I. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii*, 2012, 169: 230-239 (in Russ.).
 49. Bowler C., Van Montagu M., Inze D. Superoxide dismutase and stress tolerance. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, 43: 83-116 (doi: 10.1146/annurev.pp.43.060192.000503).
 50. Balakrishnan V., Venkateshra K., Ravindran K.C. Kulandaivelu G. Protective mechanism in UV-B treated *Crotalaria juncea* Linn. Seedlings. *Plant Protect. Sci.*, 2009, 41(3): 115-120 (doi: 10.17221/2727-PPS).
 51. Pacheco J.S., Silva-López R.E.S. Genus *Crotalaria* L. (*Leguminosae*). *Revista Fitos*, 2010, 5(3): 52.
 52. Araújo A.V., de Araújo E.F., Amaro H.T.R., Santos R.H.S., Cecon P.R. Time of harvest and storability of *Crotalaria juncea* L. seeds. *Revista ciência agrônômica*, 2018, 49(1): 1-9 (doi: 10.5935/1806-6690.20180012).
 53. Garzon Vendramini J.M.B., Silveira M.L., Moriel P., da Silva H.M.S., Dubeux J.C.B., Kaneko M., Carnelos C.C., Mamede P.A. Harvest management and genotype effects on Sunn hemp forage characteristics. *Agronomy Journal*, 2021, 113(1): 298-307 (doi: 10.1002/agj2.20465).
 54. Abdul-Baki A.S., Bryan H.H., Zinati G.M., Klassen W., Codallo M., Heckert N. Biomass yield and flower production in sunn hemp — effect of cutting the main stem. *Journal of Vegetable Crop Production*, 2001, 7(1): 83-104 (doi: 10.1300/J068v07n01_10).
 55. Mansoer Z., Reeves D.W., Wood C.W. Suitability of sunn hemp as an alternative late-summer legume cover crop. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(1): 246-253 (doi: 10.2136/sssaj1997.03615995006100010034x).
 56. Tripathi M., Chaudhary B., Sarkar S., Singh S., Bhandari H., Mahapatra B. Performance of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) as a summer season (pre-monsoon) crop for fibre. *Journal of Agricultural Science*, 2013, 5(3): 236 (doi: 10.5539/jas.v5n3p236).
 57. Parenti A., Cappelli G., Zegada-Lizarazu W., Martín Sastre C., Christou M., Monti A., Ginaldi F. SunnGro: A new crop model for the simulation of sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) grown under alternative management practices. *Biomass and Bioenergy*, 2021, 146: 105975 (doi: 10.1016/j.biombioe.2021.105975).
 58. Stella T., Francone C., Yamaz S.S., Ceotto E., Pagani V., Pitu R., Confalonieri R. Reimplementation and reuse of the Canegro model: from sugarcane to giant reed. *Comput. Electron. Agric.*, 2015, 113: 193-202 (doi: 10.1016/j.compag.2015.02.009).
 59. Farr D.F., Bills G.F., Chamuris G.P., Rossman A.Y. *Fungi on plants and plant products in the United States*. American Phytopathological Society, St Paul, MN, 1989.
 60. Seale C.C., Joyner J.F., Pate J.B. Agronomic studies of fiber plants: : Jute, sisal, henequen, furcraea, hemp and other miscellaneous types. *Florida Agr. Expt. Sta. Bull.*, 1957, 590: 16-17.
 61. Cook C.G., White G.A. *Crotalaria juncea*: a potential multi-purpose fiber crop. In: *Progress in new crops*. J. Janick (ed.). ASHS Press, Arlington, VA, 1996. 389-394.
 62. Mahur B.K., Ahuja A., Singh S., Maji P.K., Rastogi V.K. Different nanocellulose morphologies (cellulose nanofibers, nanocrystals and nanospheres) extracted from Sunn hemp (*Crotalaria Juncea*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 253(1): 12665 (doi: 10.1016/j.ijbiomac.2023.126657).
 63. Sengupta S., Debnath S. Development of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) fibre based unconventional fabric. *Industrial Crops and Products*, 2018, 116: 109-115 (doi: 10.1016/j.indcrop.2018.02.059).
 64. Maiti R.K., Chakravarty K. A comparative study of yield components and quality of Indian bast fibres. *Economic Botany*, 1977, 31: 55-60 (doi: 10.1007/BF02860653).
 65. Kumar D., Tripathi M.K., Sarkar S.K., Das A., Shill S. Breeding for improving fibre yield and green biomass in sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) germplasm. *Bangladesh J. Aril. Res.*, 2012, 37(3): 369-376 (doi: 10.3329/bjar.v37i3.12080).
 66. Sarkar S.K., Hazra S.K., Sen H.S., Karmakar P.G. Tripathi M.K. *Sunn hemp in India*. ICAR-Central Research Institute for Jute and Allied Fibres (ICAR), Barrackpore, West Bengal, 2015.
 67. Patel S., Dhillon N.K. Evaluation of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) as green manure /amendment and its biomass content on root knot nematode (*Meloidogyne incognita*) in successive crop brinjal.

- Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2017, 5(6): 716-720.
68. Mayorga L., Jacobs D., Bui H.X., Desaegeer J. Nematicidal effect of sunn hemp root and shoot extracts on eggs and second-stage juveniles of *Meloidogyne javanica*. *Nematropica*, 2022, 52: 72-78.
 69. Kankam F., Suen F., Adomako J. Nematicidal effect of sunn hemp *Crotalaria juncea* leaf residues on *Meloidogyne incognita* attacking tomato *Solanum lycopersicum* roots. *J. Crop Prot.*, 2015, 4(2): 241-246.
 70. Curto G., Dallavalle E., Santi R., Casadei N., D'Avino L., Lazzeri L. The potential of *Crotalaria juncea* L. as a summer green manure crop in comparison to *Brassicaceae* catch crops for management of *Meloidogyne incognita* in the Mediterranean area. *European Journal of Plant Pathology*, 2015, 142: 829-841 (doi: 10.1007/s10658-015-0655-2).
 71. Wang K.H., Sipes B.S., Schmitt D.P. Suppression of *Rotylenchulus reniformis* by *Crotalaria juncea*, *Brassica napus*, and *Tagetes erecta*. *Nematropica*, 2001, 31(2): 235-249.
 72. Wang K.H., Sipes B.S., Schmitt D.P. *Crotalaria* as a cover crop for nematode management: a review. *Nematropica*, 2002, 32(1): 35-57.
 73. Germani G., Plenchette C. Potential of *Crotalaria* species as green manure crops for the management of pathogenic nematodes and beneficial mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 2005, 266: 333-342 (doi: 10.1007/s11104-005-2281-9).
 74. Daimon H., Takada S., Ohe M., Mimoto H. Interspecific differences in growth and nitrogen uptake among *Crotalaria* species. *Japanese Journal of Crop Science*, 1995, 64: 115-120 (doi: 10.1626/jcs.64.115).
 75. Ohdan H., Daimon H. Evaluation of amount of nitrogen fixed in *Crotalaria spp.* and nitrogen turnover to the succeeding wheat. *Japanese Journal of Crop Science*, 1998, 67(2): 193-199 (doi: 10.1626/jcs.67.193).
 76. Balkcom K.S., Reeves D.W. Sunn hemp utilized as a legume cover crop for corn production. *Agronomy Journal*, 2005, 97(1): 26-31 (doi: 10.2134/agronj2005.0026).
 77. Teodoro M.S., Castro K.N.C., Magalhães J.A. Assessment of legumes with potential use as green manure in the coastal tablelands of Piauí state, Brazil. *Rev. Caatinga*, 2018, 31(3): 584-592 (doi: 10.1590/1983-21252018v31n306rc).
 78. Price A.J., Kelton J., Mosjidis J. Utilization of sunn hemp for cover crops and weed in temperate climates. In: *Weed control*. A.J. Price (ed). InTech, 2011: 101-114 (doi: 10.5772/1988).
 79. Dabney S.M., Delgado J.A., Reeves D.W. Using winter cover crops to improve soil and water quality. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32(7-8): 1221-1250 (doi: 10.1081/CSS-100104110).
 80. Panse V.G., Abraham T.P., Leelavathi C.R. *Green manuring of crops (Review of experimental results)*. Indian Council of Agriculture Research, New Delhi, 1965.
 81. Gupta B.N., Tripathi S.N. Influence of growing sunn hemp as fibre, green manure and dual purpose crop on the yield and economics of rice-wheat sequence under varying NPK levels. *Indian Agriculturist*, 2001, 45(1-2): 65-73.
 82. Li J., Zhao X., Maltais-Landry G., Paudel B.R. Dynamics of soil nitrogen availability following Sunn hemp residue incorporation in organic strawberry production systems. *HortScience*, 2021, 56(2): 138-146 (doi: 10.21273/HORTSCI15374-20).
 83. Viridi N.S., Neha K., Joshi S., Singh S., Singh P. Studies on variability, associations and genetic divergence for green manuring traits in sunn hemp (*Crotalaria spp.*). *J. Res. Punjab. Agric. Univ.*, 2004, 41(4): 417-422.
 84. Reddy V.R., Reddy R.R., Rao D.S., Reedy D.V., Rao Z.P. Nutritional evaluation of sunn hemp (*Crotalaria juncea*) hay as sole roughage and their use in complete ration for sheep. *Indian Journal of Animal Nutrition*, 1999, 16(1): 38-43.
 85. Balaraman N., Venkatakishnan R. Nutritive value of sunn hemp (*Crotalaria juncea* Linn) for hay for sheep. *Indian Veterinary Journal*, 1974, 51(5): 337-341.
 86. Krishna N., Prasad J.R., Prasad, D.A. Effect of stage of maturity on chemical composition and nutritive value of sunn hemp (*Crotalaria juncea* Linn.) forage. *Indian Journal of Animal Sciences*, 1985, 55: 1109-1112.
 87. Prada F., Stashenko E.E., Martínez J.R. LC/MS study of the diversity and distribution of pyrrolizidine alkaloids in *Crotalaria* species growing in Colombia. *Journal of Separation Science*, 2020, 43(23): 4322-4337 (doi: 10.1002/jssc.202000776).
 88. Malashetty V.B., Kage D.N. *Crotalaria juncea* Linn.: a comprehensive review. *International Journal of Current Research*, 2015, 7(04): 14762-14768.
 89. Solofomalala A.H.D., Rajemiarimoelisoa C.F., Judicael R.L., Randrianarivo H.R., Rakoto D.A.D., Jeannoda V.L., Boumendjel A. Pyrrolizidine-derived alkaloids: highly toxic components in the seeds of *Crotalaria cleomifolia* used in popular beverages in Madagascar. *Molecules*, 2021, 26(11): 3464 (doi: 10.3390/molecules26113464).
 90. Larrea M.I.S.A., Larrea M.D.S.A., Olivos-Oré L.A. Plants, poisonous (animals). In: *Encyclopedia of toxicology (fourth edition)*. Vol. 7 /P. Wexler (ed.). Academic Press, 2024: 685-703 (doi: 10.1016/B978-0-12-824315-2.00143-3).
 91. Anjos B.L., Nobre V.M., Dantas A.F., Medeiros R.M., Oliveira Neto T.S., Molyneux R.J., Riet-Correa F. Poisoning of sheep by seeds of *Crotalaria retusa*: acquired resistance by continuous

- administration of low doses. *Toxicon*, 2010, 55(1): 28-32 (doi: 10.1016/j.toxicon.2009.06.028).
92. Srisaikhram S., Lounglawan P. Effect of cutting age and cutting height on production and nutritive value of sunnhemp (*Crotalaria juncea*) harvest in Nakhon Ratchasima, Thailand. *Acta Horticulturae*, 2018, 1210: 29-34 (doi: 10.17660/ActaHortic.2018.1210.4).
 93. Kaneko M., Kato N., Hattori I., Matsuoka M., Vendramini J.M.B. Seeding and harvesting times and climate conditions are important for improving nitrogen and fiber contents of green manure sunnhemp. *Sustainability*, 2023, 15(9): 7103 (doi: 10.3390/su15097103).
 94. Shamprasad B.R., Lotha R., Nagarajan S., Sivasubramanian A. Metal nanoparticles functionalized with nutraceutical Kaempferitrin from edible *Crotalaria juncea*, exert potent antimicrobial and antibiofilm effects against Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Sci. Rep.*, 2022, 12(1): 7061 (doi: 10.1038/s41598-022-11004-2).
 95. Adler M.J., Chase C.A. Comparison of the allelopathic potential of leguminous summer cover crops: Cowpea, Sunnhemp, and Velvet bean. *HortScience*, 2007, 42(2): 289-293 (doi: 10.21273/HORTSCI.42.2.289).
 96. Bundit A., Ostlie M., Prom-U-Thai C. Sunnhemp (*Crotalaria juncea*) weed suppression and allelopathy at different timings. *Biocontrol Science and Technology*, 2021, 31(7): 694-704 (doi: 10.1080/09583157.2021.1881446).
 97. Skinner E.M., Diaz-Perez J.C., Phatak S.C., Schomberg H., Vencill W. Allelopathic effects of sunnhemp (*Crotalaria juncea* L.) on germination of vegetables and weeds. *HortScience*, 2012, 47: 138-142 (doi: 10.21273/HORTSCI.47.1.138).
 98. Ohdan H., Daimon H., Mimoto H. Evaluation of allelopathy in *Crotalaria* by using a seed pack growth pouch. *Japanese Journal of Crop Science*, 1995, 64(3): 644-649 (doi: 10.1626/jcs.64.644).
 99. Alidoust D., Suzuki S., Matsumura S., Yoshida M. The role of citric acid in enhanced phytoextraction of heavy metals in an andosol by *Crotalaria juncea*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2009, 18(5): 835-842.
 100. Agarwal A., Singh H.P., Rai J.P.N. Chromium phytoextraction from tannery effluent-contaminated soil by *Crotalaria juncea* infested with *Pseudomonas fluorescens*. *Environmental Science and Pollution Research*, 2014, 21: 7938-7944 (doi: 10.1007/s11356-014-2719-9).
 101. Cardoso P.F., Gratao P.L., Gomes R.A., Medici L.O., Azevedo R.A. Response of *Crotalaria juncea* to nickel exposure. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 2005, 17(2): 267-272 (doi: 10.1590/S1677-04202005000200010).
 102. Uraguchi S., Watanabe I., Yoshitomi A., Kiyono M., Kuno K. Characteristics of cadmium accumulation and tolerance in novel Cd-accumulating crops, *Avena strigosa* and *Crotalaria juncea*. *Journal of Experimental Botany*, 2006, 57(12): 2955-2965 (doi: 10.1093/jxb/erl056).
 103. Zancheta, A.C.F., de Abreu C.A., Zambrosi F.C.B., Erismann N. de M., Lagôa, A.M.M.A. Fitoextração de cobre por espécies de plantas cultivadas em solução nutritiva. *Bragantia*, 2011, 70(4): 737-744 (doi: 10.1590/s0006-87052011000400002).
 104. Thooppeng P., Junpradit C., Rongsayamanont W., Duangmal K., Prapagdee B. Cadmium-resistant *Streptomyces* stimulates phytoextraction potential of *Crotalaria juncea* L. in cadmium-polluted soil. *International Journal of Phytoremediation Volume*, 2023, 25(10): 1318-1327 (doi: 10.1080/15226514.2022.2152424).
 105. Ji X., Khan I., Moşjidis J.A., Wang H., Livant P. Variability for the presence of pyrrolizidine alkaloids in *Crotalaria juncea* L. *Pharmazie*, 2005, 60(8): 620-622.
 106. Zakirova R.P., Asatova S.S., Safarova N.R., Tashpulatova F.Sh. *Agrarnaya nauka*, 2020, 1: 52-55 (doi: 10.32634/0869-8155-2020-334-1-52-55) (in Russ.).
 107. Dzyubenko E.A., Safronova V.I., Vishnyakova M.A. Objectives of guar breeding in the Russian Federation in connection with the prospects of domestic guar gum production (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2023, 58(1): 43-59 (doi: 10.15389/agrobiology.2023.1.43eng).
 108. Al-Snafi A.E. The contents and pharmacology of *Crotalaria juncea* — a review. *IOSR Journal of Pharmacy*, 2016, 6(6): 77-86.
 109. Dinakaran S.K., Banji D., Godala P., Harani A. Pharmacognostical evaluation study on *Crotalaria juncea* Linn. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 2011, 6(3): 139-145.
 110. Chouhan H.S., Singh S.K. Antibacterial activity of seed and flower parts of *Crotalaria juncea* Linn. *American-Eurasian Journal of Scientific Research*, 2010, 5(3): 212-215.
 111. Chouhan H.S., Sahu A.N., Singh S.K. Fatty acid composition, antioxidant, anti-inflammatory and antibacterial activity of seed oil from *Crotalaria juncea* Linn. *Journal of Medicinal Plant Research*, 2011, 5(6): 984-991.
 112. Shantaveera S.H.M., Kumara S.H.V., Upadhyaya P. Comparison study of the antimicrobial activity of seed protein extracts from four medicinal plants against *Xanthomonas oxanopodis* ver. punicea. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 2015, 4(4): 948-949.
 113. Pelegrini P.B., Farias L.R., Saude A.C.M., Costa F.T., Bloch C., Silva L.P., Oliveira A.S., Gomes C.E.M., Sales M.P., Franco O.L. A Novel antimicrobial peptide from *Crotalaria pallida* seeds with activity against human and phytopathogens. *Current Microbiology*, 2009, 59(4): 400-404 (doi: 10.1007/s00284-009-9451-6).
 114. Sadhukhan S., Sarkar U. Production of biodiesel from *Crotalaria juncea* (Sunn-Hemp) oil using

- catalytic trans-esterification: process optimisation using a factorial and Box-Behnken Design. *Waste and Biomass Valorization*, 2016, 7(2): 343-355 (doi: 10.1007/s12649-015-9454-4).
115. Sinbuathong N., Khun-Anake R., Sawanon S. Biogas production from sunn hemp. *International Journal of Global Warming*, 2019, 19(1-2): 24e36 (doi: 10.1504/IJGW.2019.10023348).
 116. Sinbuathong N., Sillapacharoenkul B. Enhancement of biogas production from sunn hemp using alkaline pretreatment. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, 46(6): 4870-4878 (doi: 10.1016/j.ijhydene.2020.04.058).
 117. Chandra R., Takeuchi H., Hasegawa T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: a review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, 16(3): 1462-1476 (doi: 10.1016/j.rser.2011.11.035).
 118. Berriel V., Monza J., Perdomo C.H. Cover crop selection by jointly optimizing biomass productivity, biological nitrogen fixation, and transpiration efficiency: application to two *Crotalaria* species. *Agronomy*, 2020, 10(8): 1116 (doi: 10.3390/agronomy10081116).
 119. Borisov A.Yu., Shtark O.Yu., Zhukov V.A., Nemankin T.A., Naumkina T.S., Pinaev A.G., Akhtemova G.A., Voroshilova V.A., Ovchinnikova E.S., Rychagova T.S., Tsyganov V.E., Zhernakov A.I., Kuznetsova E.V., Grishina O.A., Sulima A.S., Fedorina Ya.V., Chebotar' V.K., Bisseling T., Lemanso F., Dzhianinazzi-Pirson V., Rate P., Sankhuan Kh., Stougaard Y., Berg G., Makfi K., Eddis N., Tikhonovich I.A. Interaction of legumes with beneficial soil microorganisms: from plant genes to varieties. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2011, 3: 41-47 (in Russ.).
 120. Shtark O.Yu., Borisov A.Yu., Zhukov V.A., Nemankin T.A., Tikhonovich I.A. *Ekologicheskaya genetika*, 2011, IX(2): 80-94 (in Russ.).
 121. Hazra S.K., Mahapatra A.K., Saha A., Saha D., Bandyopadhyay A., Das A.K., Gupta D., Sen, H.S. Medicinal importance of Sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) in relation to chemical constituents, bioactivity and conservation. *J. Botan. Soc. Bengal.*, 2005, 59(1/2): 1-11.
 122. Ribeiro I.J.A., de Miranda M.A.C., Bulisani E.A., de Almeida L.D., Lovadini, L.A.C., Sugimori M.H., Paradela Filho O. Breeding *Crotalaria*. I. Self compatibility and resistance to wilt caused by *Ceratocystis fimbriata*. *Bragantia*, 1977, 36(1): 291-295 (doi: 10.1590/s0006-87051977000100028).
 123. Miranda M.A.C. Adequacao modelo aditivo — dominante em dois caracteres de crotalaria: aditive-dominant in two traits of sunn hemp. *Bragantia*, 1991, 50(2): 195-202 (doi: 10.1590/S0006-87051991000200003).
 124. Miranda M.A.C., Bulisani E.A., Teixeira J.P.E., Mascarenhas H.A.A. Herança da pigmentação com antocianina em *Crotalaria juncea* L. *Bragantia*, 1989, 48(1): 87-94 (doi: 10.1590/S0006-87051989000100008).