

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 633.66:631.559.2

doi: 10.26907/2542-064X.2022.1.46-75

СТЕВИЯ (*Stevia rebaudiana* Bertoni): БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА РОСТ РАСТЕНИЙ И НАКОПЛЕНИЕ СЛАДКИХ ГЛИКОЗИДОВ

Н.Г. Синявина, А.А. Кочетов, К.В. Егорова

*Агрофизический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, 195220, Россия*

Аннотация

Стевия известна благодаря содержащимся в листьях дитерпеновым стевииолгликозидам. Основные из них, стевииозид и ребаудиозид А, широко используются в современной пищевой индустрии в качестве натуральных низкокалорийных сахарозаменителей, их сладость в среднем в 250–300 раз выше, чем у сахарозы. Богатый биохимический состав листьев стевии определяет ее высокую фармакологическую ценность, экстракты из листьев обладают выраженными антиоксидантными свойствами. В работе дан обзор и проведена систематизация современных данных о биологических особенностях культуры стевии и факторах, влияющих на рост растений, накопление сухой массы листьев и содержание сладких гликозидов. Расширение объемов возделывания стевии в России перспективно благодаря тому, что во многих регионах существуют условия для получения высоких урожаев экологически чистой продукции, а широкое использование ее в пищевой промышленности будет способствовать улучшению здоровья населения. Рассмотрены условия, необходимые для получения высоких урожаев сухого листа и сладких гликозидов, а также факторы, которые необходимо учитывать как при промышленном выращивании, так и при проведении научно-исследовательских работ с культурой стевии.

Ключевые слова: стевия, биологические особенности, сладкие гликозиды, факторы среды, генетическое разнообразие, урожай

Введение

Стремительный рост заболеваемости диабетом и ожирением в конце XX – начале XXI в. вследствие снижения двигательной активности и избыточного потребления высококалорийных продуктов питания, в том числе рафинированного сахара, послужил стимулом для роста рынка диетических подсластителей во всем мире. Сладкие гликозиды (стевииолгликозиды, СГ) стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni), прежде всего стевииозид (СТ) и ребаудиозид А (РА), являются в настоящее время одними из наиболее перспективных низкокалорийных сахарозаменителей благодаря своему природному происхождению. Употребление СГ не только не имеет негативного эффекта на здоровье человека в отличие от синтетических подсластителей, но и оказывает терапевтическое воздействие в отношении многих болезней [1]. Исследования показали, что продукты из стевии обладают противовоспалительным, противораковым, противовоспалительным, антидиабетическим, антиканцерогенным,

антигипертензивным, антикардиоваскулярным действием, характеризуются противодиарейными и антикариесными свойствами, положительно влияют на функцию почек [2, 3]. Высокоочищенные СГ и измельченный сухой лист стевии пользуются большим спросом на рынке пищевой и фармацевтической продукции, а также в косметологии. СГ широко используют при производстве кондитерских изделий (джемов, конфет и др.), чая, кофе, безалкогольных напитков, йогуртов, фруктовых соков, мороженого, солений, соевого соуса, изделий из соевых бобов и морепродуктов. Кроме того, их применяют как стабилизаторы цвета пищевых продуктов, добавки в зубную пасту, загустители [4–7]. Мировой спрос на продукцию на основе стевии неуклонно растет. Ожидается, что в ближайшее десятилетие объем производства стевии и продуктов ее переработки будет значительно ниже рыночного спроса [8]. По оценке экспертов, доход от мировой продажи продуктов из стевии в 2017 г. составлял 490.1 млн долларов США и, по прогнозам, к 2022 г. превысит 700 млн долларов [9].

Растущий спрос и расширение ассортимента продукции на основе стевии служат предпосылкой для расширения собственного производства сухого листа стевии в нашей стране и странах СНГ [10, 11], что соответствует положениям Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [12]. Кроме того, отечественная сельскохозяйственная продукция отвечает нормам экологической безопасности, в то время как в Китае, основном производителе сухого листа стевии и продуктов его переработки, значительная часть почв загрязнена высокотоксичными поллютантами, что делает употребление растений и продукции из них небезопасным для здоровья человека [13]. В связи с этим вопросы, связанные с обеспечением получения высоких урожаев качественного сухого листа и СГ, актуальны и требуют изучения и анализа с учетом последних исследований в области физиологии, генетики и агротехнологии культуры.

Основная часть

1. Общие сведения. *Stevia rebaudiana* Bertoni – представитель семейства *Asteraceae* – многолетний полукустарник высотой 80–100 см, произрастающий в диком виде в пограничных регионах Бразилии и Парагвая в среднегорье на окраинах болот и пастбищ. Типичной средой обитания для нее являются субтропические и тропические регионы с мягким, влажным, теплым и солнечным климатом. Благодаря ее высокой адаптивности, в настоящее время стевию успешно выращивают в различных регионах мира от экватора до северных широт [8, 14–16]. Основными коммерческими производителями стевии и продуктов ее переработки являются прежде всего Китай, а также Япония, Тайвань, Вьетнам, Южная Корея, Таиланд, Малайзия, Парагвай, Аргентина, Бразилия, Австралия [15–18]. Она успешно культивируется как однолетняя культура в Европе, США и Канаде [8, 14–18]. В России стевию выращивают с конца 90-х годов XX в. в южных регионах (Воронежская область, Краснодарский край, Ставрополье, Северный Кавказ, позже – Крым), а также в Приморском крае [5, 20–22]. Большой потенциал для ее культивирования имеется в Нечерноземье, где этому способствуют длинный день и достаточное количество осадков [14].

2. Морфологические и биологические особенности культуры. Стевия – многолетний травянистый полукустарник с развалистым ветвящимся стеблем, высотой до 80–120 см. Листья перекрестно-супротивные, ланцетовидные с пильчатым краем, цельные, сидячие, с 12–16 зубцами, 5–7 см длины и 1–2 см ширины, у многих культурных образцов – значительно крупнее. Цветки мелкие, белые, актиноморфные, четырехкруговые, пятичленные, собраны в корзинки по пять цветков в общей обертке. Венчик цветка стевии спайнолепестный, тычинок пять, пестик один с нижней одногнездной завязью, нитевидный. Нити тычинок свободные, а пыльники, срастаясь между собой, образуют пыльниковую трубку, сквозь которую проходит пестик [23]. Семена стевии мелкие, масса 1000 семян 0.15–0.30 г [24]. Стевия является перекрестноопыляемым растением, семена от самоопыления обычно светлоокрашенные и являются стерильными. По данным Е.А. Кононовой и др. [22], цветки сладкими выделениями привлекают бабочек, хищных мух (журчалок), которые переносят пыльцевые зерна и обеспечивают перекрестное опыление. Оптимальная для созревания семян температура составляет 20–25 °С.

Стевия является светолюбивым растением короткого дня, при длине дня менее 12 ч она быстро переходит к цветению, при более продолжительном фотопериоде (14–16 ч) наблюдается интенсивный вегетативный рост и накопление биомассы [14, 15, 18, 25–27]. Стевия не устойчива к воздействию низких температур, и в регионах с отрицательными зимними температурами ее возделывают как однолетнюю культуру, при этом рассаду для последующей высадки в поле производят в условиях защищенного грунта, там же поддерживают коллекцию маточных растений, используемых для вегетативного размножения [8, 16–18].

С.Б. Сикорская в условиях Центрально-Черноземного государственного природного биосферного заповедника имени профессора В.В. Алехина установилахождение растением стевии при семенном размножении в однолетнем цикле вегетации 12 этапов органогенеза, относящихся к прегенеративному, генеративному и постгенеративному возрастным периодам [28]. В условиях Курской области семена прорастали на 2–5-й день при лабораторной всхожести около 60%. Прегенеративный период длился 87–104 дня и включал четыре возрастных состояния. Первому этапу органогенеза и первому возрастному состоянию соответствовал проросток с двумя семядолями, двумя супротивно расположенными парами округлых листьев и стержневой корневой системой, длительность состояния – 7–9 дней. Второй этап органогенеза, активный вегетативный рост, продолжался 80–95 дней. Ему соответствовали ювенильное, иматурное и виргинильное возрастные состояния. Форма листовой пластинки менялась с эллиптической в ювенильном состоянии на обратнойцевидную и ланцетовидную в виргинильном. В ювенильном состоянии начиналось постепенное увеличение числа боковых корней, ко времени перехода в виргинильное корневая система приобретала вид мочковатой за счет их сильного развития.

О.К. Кустова [29] показала, что у растений стевии в генеративном возрастном состоянии побеговая система представлена главным побегом и системой боковых побегов с моноподиальным нарастанием, которые завершаются образованием соцветий. В условиях Курской области генеративный период стевии начинался с третьего этапа органогенеза и заканчивался двенадцатым этапом, его

продолжительность составляла 95–120 дней [28]. Он включал три возрастных состояния растений – молодое, средневозрастное и позднее генеративное. В молодом генеративном состоянии наблюдались ветвление осей соцветий, начало формирования цветка (этапы органогенеза с третьего по пятый), окончательное формирование цветка и бутонизация (шестой, седьмой и восьмой этапы органогенеза). Репродуктивные органы формировались начиная с 20–22-го узла вегетативной части побега. Корневая система сохраняла черты растений в виргинильном возрастном состоянии. С началом третьего этапа органогенеза совпало формирование верховых листьев и прицветников. Средневозрастному генеративному состоянию соответствовали девятый и десятый этапы органогенеза, при этом происходило цветение, оплодотворение растения, формирование зародыша, плода и семени. Цветение стевии было ремонтантным. Длительность цветения одного цветка в Курской области составляла 7–13 дней, а всего растения – 45–55 дней [28]. Сходные данные были получены О.К. Кустовой [29] в условиях юго-востока Украины: длительность цветения отдельно взятого парциального соцветия составляла 15–18 дней, всего растения – 45–60 дней.

Позднее генеративное возрастное состояние было сопряжено с одиннадцатым и двенадцатым этапами органогенеза, при этом генеративная функция резко ослабевала. В нижней части побегов некоторые структуры отмирали вместе с частью придаточных и боковых корней, число зеленых листьев сокращалось. Отмирание продолжалось в постгенеративном периоде, к концу которого надземная часть растений полностью засыхала, а основание побега втягивалось в почву. Весной на второй год жизни из почек возобновления развивались новые вегетативные побеги, вследствие этого стевия отнесена к поликарпическим многолетним растениям с побегами, развивающимися по монокарпическому типу. С.Б. Сикорская [28] не сообщает, сохраняли ли растения в зимний период под укрытием или в утепленных помещениях. Согласно данным О.К. Кустовой [29], в условиях юго-востока Украины со сходными параметрами климата постгенеративного периода *S. rebaudiana* в открытом грунте не наблюдали, так как при наступлении заморозков растения погибали в позднем генеративном возрастном состоянии.

3. Размножение стевии. Стевия легко размножается вегетативно, в природе – преимущественно делением куста и стеблевыми черенками, втаптываемыми в землю животными [30, 31]. При промышленном выращивании стевии обычно размножают стеблевыми черенками, которые легко укореняются, или с использованием микрклонального размножения *in vitro* [32–35]. Семенное размножение менее эффективно: всхожими являются только темноокрашенные семена, которых, как правило, образуется немного. Всхожесть семян для большинства культивируемых генотипов обычно низкая и не превышает 15–25% [35–37]. В работе [24] максимальные значения всхожести откалиброванных темноокрашенных семян (58.7%) наблюдали при проращивании на свету при температуре 20 °С; в условиях более низких температур и в темноте этот показатель снижался. М.К. Ахматов исследовал всхожесть семян стевии, культивируемой в Кыргызстане в разные годы и при разных сроках уборки, при этом показатель всхожести варьировал от 0 до 46% [36].

Другим недостатком семенного размножения стевии является генетическая разнородность получаемых растений и высокая вариабельность их морфологических характеристик, сухой массы листьев, содержания СГ и их компонентного состава [37]. Кроме того, получение хорошо развитой рассады из семян требует много времени: всходы обычно появляются на 4–8-й день, а для получения растений, готовых к высадке в поле, требуется не менее полутора месяцев [24]. В работе [38] показано преимущество рассады, полученной путем зеленого черенкования от маточных растений, перед сеянцами: растения из черенков на момент уборки сформировали большую биомассу листьев и были существенно однороднее по сравнению с растениями, выросшими из семян. Поэтому семенное размножение используют преимущественно при селекции новых генотипов [8].

4. Биохимический состав. Стевия имеет ценный биохимический состав, определяющий ее полезные свойства. Показано, что содержание воды варьирует от 4.45 до 10.73 г; белка – 6.2–20.4 г; жиров – 1.9–6.13 г; углеводов – 35.2–73.99 г; сырой клетчатки – 13.9–18.5 г на 100 г сухих листьев. Отмечено также высокое содержание минеральных элементов [6, 16, 39, 40].

Сладкие дитерпеновые стевииолгликозиды (СГ) – основной продукт, получаемый из стевии. Их содержание в листьях культурных генотипов составляет 10–20% от массы сухого листа. Типичными пропорциями содержания основных СГ являются следующие: стевииозид (СТ) – 5–10%, ребаудиозид А (РА) – 2–4%, ребаудиозид С – 1–2%, дулькозид А – 0.4–0.7% [41–43]. В настоящее время идентифицировано более 30 СГ (ребаудиозид А, С, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, Q, стевииозид А, D, E и др.) [4, 44]. Большинство СГ – тетрациклические дитерпены. Их основу составляет агликон стевииол, к которому в положениях R1 и R2 присоединены моносахара (глюкоза, фруктоза, рамноза, ксилоза и деокси-глюкоза) в количестве 2–3 ед. (рис. 1). Сладость СГ по отношению к сахарозе варьирует в пределах 50–450, в зависимости от количества и типа моносахаров в их составе, для СТ и РА эти цифры составляют 200–450 [45].

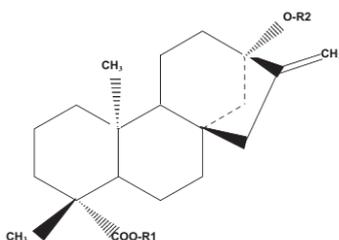


Рис. 1. Структура молекулы СГ [40]

Высокоочищенные СГ (> 95%) разрешены к применению в пищевой промышленности более чем в 150 странах мира, из них ребаудиозид А (РА) – основной коммерческий продукт, продаваемый в настоящее время на мировом рынке [4]. РА – подсластитель более высокого качества, он слаще стевииозид (СТ), не имеет выраженного лакричного послевкуся, присущего стевииозиду, и столь же безопасен для здоровья человека, как и СТ. В последние годы появились сообщения о том, что минорные ребаудиозиды – РD и РM – обладают лучшими

вкусовыми качествами по сравнению с РА [8, 46, 47], однако широкого распространения в пищевой индустрии они пока не получили.

СГ синтезируются по метилэритрол-4-фосфатному пути биосинтеза изопреноидов. Образование и аккумуляция их происходит в активно фотосинтезирующих тканях – в хлоропластах, ЭПР и вакуолях, откуда потом они могут частично транспортироваться в другие части растения [48, 49]. Физиологически зрелые листья среднего яруса содержат наибольшее количество сладких гликозидов по сравнению с более молодыми листьями верхушки побега или листьями нижних ярусов [15]. В онтогенезе наибольшее содержание СГ в растениях наблюдается на стадии бутонизации и перехода к цветению [15, 19, 50, 51], что обычно служит определяющим фактором для начала уборки урожая.

Помимо сладких гликозидов, в листьях стевии содержится комплекс ценных химических соединений (полифенолов, флавоноидов, витаминов и др.), определяющих высокую антиоксидантную активность ее экстрактов. Благодаря этому она находит широкое применение в составе фиточаев, травяных сборов, различных БАД [16, 52–55].

5. Влияние факторов окружающей среды на рост стевии, урожай сухого листа и накопление сладких гликозидов. Данные об урожайности стевии и содержании СГ сильно варьируют, что объясняется прежде всего влиянием условий выращивания и генетическими различиями образцов. Температура, освещенность, содержание минеральных элементов, влажность почвы – важные факторы, от которых зависит получение высоких урожаев сухого листа стевии и сладких СГ. Так, по данным [56], средняя масса сухих листьев одного растения в Австралии составляет 20–50 г, урожай – 2–2.5 т/га (при плотности посадки 75 тыс. шт./га). В Индии при плотности посадки около 50 тыс. шт./га получали до 1.7–1.9 т/га сухого листа [57]. На юго-западе Франции наблюдали различия по урожайности от 0.77 до 3 т/га в зависимости от генотипа [58], в южной Италии – от 0.33 (без полива) до 2.43 т/га (с поливом) [59]. Наиболее высокие урожаи стевии отмечены в юго-западной Германии – 6–7.2 т/га сухого листа [18], а также на западе США – свыше 7 т/га сухого листа у отдельных генотипов [60]. В России и на территории бывшего СССР урожай сухого листа стевии составлял 0.8–3 т/га [5, 20–22, 61]. Довольно большой диапазон значений приводится и по урожаю СГ: до 400 кг/га сладких гликозидов в условиях оптимального полива посадок у С. Пацифико и др. [59]; 720–1023 кг/га СГ у С. Мунц и др. [18]; 512.2 кг/га СТ у Р.М. Мораэс и др. [62] и до 1000 кг/га СГ (из них до 500 кг/га РА) у Ш.А. Пэррис и др. [60]. Возможными причинами большой вариабельности данных по урожаю могут быть как разница в генотипических и фенотипических характеристиках культивируемых образцов и влияние взаимодействия генотип – среда, так и различия между результатами модельных экспериментов на небольших площадях и в условиях производственных посадок.

5.1. Генетическое разнообразие. Условия окружающей среды, а также время срезки (стадия развития растений) в значительной мере влияют на общее содержание СГ, в то время как качественный состав СГ определяется прежде всего генотипом сорта [8, 18, 43, 54, 63–65]. В мире существует около 90 [8], а по данным [64] – около 150 сортов *S. rebaudiana*, выращиваемых в разных

регионах. Но при этом культивируется также большое количество образцов, не имеющих четких сортовых характеристик [64–66]. Наиболее известные и популярные в мире сорта стевии – Morita II, III, Criolla, Eirite I и II – описаны в [8, 66]. В России культивируются сорта отечественной селекции, адаптированные к местным природно-климатическим условиям. В настоящее время в Государственном реестре селекционных достижений зарегистрировано 9 сортов стевии [67].

В ряде исследований наблюдали высокую вариабельность по урожайности и СГ-профилю среди сортообразцов и сортов [43, 58, 60, 65]. Изучая популяцию стевии, выращенную из семян, С. Накамура и Ю. Тамура в 1985 г. [37] и позднее К. Барбет-Массин и др. [43] наблюдали расщепление полученных генотипов по содержанию СГ и их компонентному составу. Значительную генотипическую изменчивость по общему содержанию и составу сладких гликозидов наблюдали при выращивании 55 генотипов стевии в различных регионах Марокко [63]. Поэтому многие исследователи считают, что общее содержание и компонентный состав СГ стевии, а также морфологические характеристики новых генотипов могут быть модифицированы и улучшены путем целенаправленной селекции [43, 63, 65, 68]. Основная часть выращиваемых в настоящее время образцов стевии содержит СГ в качестве основного компонента СГ, однако некоторые культурные сорта имеют повышенное содержание РА, который является подсластителем более высокого качества. При этом у некоторых целенаправленно отобраных сортов с высокой биомассой, в частности Morita, Morita II, US 6031157 A, US 7884265 B2, WO 2016/134449 A1, WO 2016/085693 A1 и др., РА является преобладающим компонентом СГ [43, 60, 63, 68]. В последние годы получен сорт стевии с повышенным содержанием ребаудиозида D, обладающего отличными вкусовыми качествами и высокой сладостью – WO 2014146084 A1 [68], однако данные по его урожайности при промышленном выращивании не приведены. У сортов стевии, культивируемых на территории РФ, содержание СГ составляет от 6.5% до 15.6%, наиболее высокими показателями характеризуются сорта София, Марфа, Рамонская сластена и Ставропольская сластена; в профиле всех сортов преобладает СГ (более 50% от общего содержания сладких гликозидов) [67]. Селекция на улучшение компонентного состава СГ в сторону повышения содержания ценных в пищевом отношении гликозидов – РА, РD и РM, включение в селекционный процесс наиболее перспективных идентифицированных по биохимическому составу образцов стевии являются, таким образом, одними из важных практических задач.

Большинство морфологических характеристик различных образцов стевии (высота растений, характер ветвления, форма и размеры листьев и др.), влияющих на урожай, также генетически детерминированы [8, 54]. Некоторые культурные сорта стевии могут сильно различаться (рис. 2).

Среди культивируемых в нашей стране и на территории СНГ сортообразцов стевии также наблюдаются различия по морфологическим характеристикам и темпам развития. Г.А. Сурхаев и др. [20], Т.Ф. Маховикова и др. [55] выделили три морфотипа стевии, выращиваемых в Ставропольском крае, – мелколистный, среднелистный и крупнолистный. Авторы показали, что за счет большего (на 65%) количества побегов у растений мелколистного морфотипа урожай фитомассы



Рис. 2. Морфологические различия между двумя генотипами стевии [8]

при первой срезке у него был выше по сравнению с крупнолистным на 15%. Кроме того, бутонизация у мелколистного и среднелистного образцов наступала на 53–59 сут раньше, что позволяло проводить две срезки в течение одного сезона, так как после первой срезки в I – II декаде августа растения успевали отрастать до наступления устойчивого похолодания. Е.Р. Ермантраут, В.Й. Стефанюк [69] также выявили различия между культивируемыми на Украине сортообразцами стевии по размеру листьев и срокам перехода к цветению. Вариабельность морфологических характеристик и темпов развития образцов стевии делает перспективным селекционно-генетические исследования, направленные на повышение кустистости, крупности листа и скорости отрастания побегов после срезки.

Генетическое разнообразие стевии проявляется также в ответных реакциях на действие стрессовых факторов среды. Различия генотипов могут определяться чувствительностью к низким температурам [70] и отзывчивостью на применяемые дозы удобрений [71].

Анализ полученных данных свидетельствует о перспективности селекционной работы по созданию новых высокопродуктивных сортов стевии с улучшенным компонентным составом СГ, устойчивых к действию различных стрессоров и экологических условий конкретных регионов возделывания.

5.2. Световые условия выращивания. Фотопериод и интенсивность освещения играют большую роль в формировании урожая стевии. Например, экспериментально доказано, что при длине дня около 12–13 ч стевия быстро переходит к цветению после формирования коротких побегов с 4–5 парами мелких листьев. Цветение наступает на 54–104-й день в зависимости от фотопериодической чувствительности генотипа [15].

При культивировании в условиях длинного дня вегетативный рост продляется, масса растения значительно возрастает, прежде всего за счет увеличения высоты и количества побегов, числа пар листьев и их размеров. Это приводит к большому накоплению сухого вещества, углеводов, белка и СГ в листьях [15, 19, 25]. Исследования, проведенные в регулируемых условиях, показали, что оптимальным для получения максимального урожая сухого листа является 16–18-часовой фотопериод [26, 27]. Ю. Йонедэ и др. [25] изучали рост стевии в светокультуре при различной длине дня (8–24 ч) и получили сходные результаты. В этих экспериментах одним из вариантов было выращивание при непрерывном 24-часовом освещении, при этом растения набирали максимальную по сравнению

с другими фотопериодами вегетативную массу, однако в результате отсутствия темного периода наблюдалось возникновение морфологических дефектов побегов. В [25] показано, что экспрессия генов, вовлеченных в синтез СГ (КО, UGT85C2, UGT74G1), также была максимальной при непрерывном освещении.

Интенсивность освещения, наряду с фотопериодом, играет одну из ключевых ролей. Показано, что при выращивании в светокультуре под лампами ДНаТ-400 оптимальная облученность для получения максимального урожая сухой массы листьев составляла 90–110 Вт/м² ФАР [26, 27]. В эксперименте с выращиванием стевии методом бессубстратной гидропоники под люминесцентными лампами [25] наблюдали значительное увеличение площади листовой поверхности, массы листьев, длины и диаметра стебля, числа листьев при увеличении освещенности от 50 до 400 мкмоль/м²·с. Однако при 400 мкмоль/м²·с, что соответствует 90 Вт/м² ФАР, наблюдалось фотоповреждение в виде ожогов на листьях, что в данном случае могло быть следствием резкого изменения интенсивности освещения при отсутствии акклиматизации, так как в предшествующий период растения выращивали при освещенности 120 мкмоль/м²·с (около 25 Вт/м² ФАР).

Урожай СГ определяется комбинацией двух главных составляющих: массы листьев и процентного содержания в них СГ. В условиях длинного дня – 16 часов и более, в светокультуре при облученности 80–100 Вт/м² ФАР, а в природных условиях – при естественной инсоляции, даже в условиях Северо-Запада РФ, при оптимальной тепло- и влагообеспеченности растения генотипов интенсивного типа формируют большую листовую массу, и при уборке в период бутонизации – начала цветения (при максимальном процентном содержании стевииолигосахаридов) общий урожай СГ может быть довольно высоким – до 1 т/га, что подтверждается данными [18, 60, 62].

5.3. Температура. Наиболее подходящими для выращивания стевии являются регионы с продолжительными теплыми периодами, когда дневная температура составляет 25–35 °С [8]. О негативном влиянии высокой температуры при выращивании стевии даже в таких жарких регионах, как Индия, Австралия, Малайзия, Египет, не сообщается.

Основной проблемой при культивировании стевии за пределами тропической и субтропической зон является действие низких температур, лимитирующих рост и выживаемость. Стевия обычно не развивается при длительном действии низких положительных температур (ниже 9 °С). Довольно подробно вопросы влияния низких температур освещены в [31]. Показано, что рост этой культуры возможен даже при 12 °С, однако при промышленном выращивании для получения высоких урожаев требуются температуры от 15 °С и выше. Обнаружено, что холодовой стресс (длительное понижение температуры до +5 °С) оказывает комплексный негативный эффект на рост и морфогенез стевии, работу фотосинтетического аппарата и накопление СГ [70]. Критической температурой почвы для выживания стевии является температура 0–2 °С, однако Р.М. Мораэс и др. [62] наблюдали частичную перезимовку растений на Миссисипской полевой биологической станции под пленочными тоннелями при мульчировании посадок слоем коры, при этом средняя и минимальная температура воздуха в самые холодные месяцы составляли –2 °С и –14.4 °С соответственно.

В тропических и субтропических регионах растения стевии могут быть использованы для промышленного выращивания на одном месте в течение 6–8 лет. При этом урожай вегетативной массы можно снимать до 6 раз в год, а после обрезки растение быстро отрастает [8, 16]. В регионах с отрицательными зимними температурами стевию выращивают как однолетнюю культуру при количестве срезов 1–3 за сезон. Рассадку высаживают в поля после окончания угрозы ночных заморозков и стабилизации суточной температуры воздуха и почвы выше 10–12 °С [8, 16–18, 62].

5.4. Плотность посадки. Плотность посадки во многом определяет урожайность стевии, влияя на конкуренцию в ценозе за свет и питательные вещества. Схема посадки, определяющая густоту стояния растений в поле, зависит от применяемых технологий возделывания (однострочная или двустрочная посадка, ряды, гряды), морфологических особенностей культивируемых образцов (высота растений, степень ветвления, густота и размер кроны), климатических особенностей региона выращивания. Показано, что наибольшую индивидуальную массу растения стевии формируют при разреженной посадке – 50 и менее тыс. шт./га, что объясняется лучшим обеспечением растений светом и почвенными ресурсами [38, 55, 71–73]. Однако выход сырой и сухой биомассы, а также урожай сладких гликозидов с единицы площади выше при более плотной посадке – 70 и более тыс. шт./га, так как высокий урожай в данном случае формируется за счет большого количества растений на единицу площади, что компенсирует их более низкую индивидуальную массу. Кроме того, высокая плотность посадки снижает конкуренцию со стороны сорной растительности, которая особенно высока в начальный период после высадки рассады в поле. Э. Ранк и Д. Мидмор [56] сообщают, что плотность посадки 70–80 тыс. шт./га была оптимальной для условий Австралии, при этом авторы учитывали расходы на борьбу с сорняками, которые в разреженных посадках выше, и на производство рассады. Е.Р. Ермантраут, В.И. Стефанюк [69] показали эффективность плотности посадки 90 тыс. шт./га (схема посадки 70×16 см). К. Шивани и др. [74] выращивали стевию при плотности посадки 100–165 тыс. шт./га и получили максимальный урожай при 165 тыс., однако такая высокая плотность посадки увеличивает стоимость производства при выращивании стевии в коммерческих масштабах. В экспериментах Т.Ф. Маховиковой с соавторами [55] накопление листовой фитомассы стевии в условиях Западного Прикаспия также было максимальным при плотности посадки свыше 160 тыс. шт./га, при этом экономический аспект в работе не отражен. Исследования украинских ученых, проведенные в Тернопольской области, показали, что оптимальная плотность посадки стевии составляла 110 тыс. шт./га при урожае 34.2 ц/га сухого листа [77]. В работах [38, 72, 75], направленных на изучение влияния схемы посадки на рост и урожай стевии, максимальный урожай сухого листа и сладких гликозидов также был получен при достаточно высокой плотности посадки – свыше 100 тыс. шт./га. В целом, можно сделать вывод, что плотность посадки 80–110 тыс. шт./га является наиболее оптимальной в экономическом плане для всех регионов возделывания культуры.

5.5. Эдафические факторы. Эдафические факторы среды напрямую определяют продуктивность сельскохозяйственных культур, от их оптимального сочетания зависят как урожай, так и качество продукции, ее биохимический состав. В данном разделе речь пойдет об основных факторах, определяющих урожай стевии, и об их влиянии на содержание СГ в растениях.

5.5.1. Влагообеспеченность. В регионах промышленного выращивания стевии возделывают с использованием систем орошения. Оптимальный полив – важный фактор для получения высоких урожаев сухого листа стевии и сладких гликозидов в регионах с недостаточным увлажнением. Е.Р. Ермантраут, В.Й. Стефанюк [69] сообщают, что водный режим посадок стевии – основной фактор, влияющий на урожай (его вклад составляет 52.4%), в то время как вклад генотипа и схемы посадки существенно меньше – 9.6% и 35% соответственно. В работе [59] показано, что в Италии в засушливом 2015 г. биомасса растений и урожай СГ на опытных полях при оптимальном поливе были в 6–7 раз выше, чем в вариантах без полива. Сходные данные были получены в [78]. Результаты, полученные в [79], говорят о том, что продолжительная засуха тормозит экспрессию генов, ответственных за синтез сладких гликозидов, и достоверно снижает накопление всех исследуемых СГ: содержание их в вариантах, где растения подвергались действию засухи, составляло 20–82% от контрольных значений [79].

Тем не менее стевия достаточно хорошо адаптируется к условиям некоторого недостатка влаги и хорошо восстанавливается при подвядании после кратковременной засухи при нормализации содержания воды в почве. В [32] в условиях горшечной культуры в теплице показано, что уменьшение влажности почвы до 60% от полевой влагоемкости (ПВ) не оказывало негативного воздействия на рост растений и сухой вес листьев; угнетение роста стевии и снижение уровня СГ наблюдали при 45% ПВ. Кроме того, в условиях теплицы общее содержание СГ было выше при 60% ПВ по сравнению с вариантами 75 и 90% ПВ. Мунц и др. [18] сообщают, что в полевых условиях юго-западной Германии в условиях жаркого, солнечного и засушливого лета в 2015 г. урожай сухого листа и СГ был выше, чем в более влажном 2014 г., типичном для данного региона. Это, по-видимому, связано с лучшими условиями инсоляции и более высокой суммой эффективных температур в 2015 г. при отсутствии длительного дефицита почвенной влаги, так как растения в данных экспериментах поливали несколько раз за сезон.

Д. Мидмор и др. [80] наблюдали, что масса всех органов стевии и высота растений в условиях теплицы увеличивались с ростом содержания воды от 50% до 100% от полевой влагоемкости и снижались при 120% от ПВ в результате недостаточной обеспеченности корней кислородом из-за переувлажнения. Однако важный показатель урожайности – отношение сухой массы листьев к массе надземной части – был более высоким при 50% ПВ и снижался по мере увеличения влажности субстрата, так как при высоком количестве доступной влаги растения в большей степени использовали ее для обеспечения роста стеблей, чем листового аппарата.

5.5.2. Кислотность и засоленность почвы. Известно, что, несмотря на то что стевия происходит из регионов с низкими значениями рН почвы (4–5), она хорошо растет и на нейтральных и слабощелочных почвах в диапазоне рН

от 6.5 до 7.5 [81]. Однако Г.Г. Кафле и др. [82] в модельном эксперименте в гидропонной культуре получили максимальную биомассу растений стевии при выращивании при рН 6. При более низких рН (4 и 5) биомасса растений и количество побегов уменьшались незначительно, а при рН 7 наблюдалось более сильное снижение этих показателей. Максимальное угнетение роста стевии происходило при рН 8 (50% от значений, полученных при рН 6). При этом не было выявлено статистически достоверных различий в процентном и общем содержании СГ при разных рН. Авторы сделали вывод, что для высокого урожая листьев стевии значение рН должно быть ниже 7.

Уровень засоленности почвы также оказывает влияние на рост и урожай стевии. В работе [83] показано, что, хотя растения стевии в целом устойчивы к засолению, увеличение содержания NaCl в субстрате приводит к угнетению роста и значительному снижению синтеза и накопления СГ. С другой стороны, М. Дебнатх и др. [84] при модельных опытах в гидропонной культуре выявили различия в чувствительности двух сортов стевии к NaCl и показали, что мягкий солевой стресс (50 мМ NaCl в питательном растворе) способствовал повышению урожая СГ, в большей степени РА, положительным образом влияя на соотношение РА:СГ.

5.5.3. Удобрения. Многие исследователи сообщают, что стевия не нуждается в высоком уровне элементов питания, так как происходит из регионов с бедными почвами [8, 16, 17, 51, 56]. Тем не менее внесение удобрений в оптимальных количествах необходимо для получения высоких урожаев сухого листа и СГ при промышленном выращивании культуры.

О потребности в основных элементах питания можно косвенно судить по содержанию зольных элементов в растениях. И.Ю. Ситничук с соавторами [85] получили следующие данные по содержанию макро- и микроэлементов в листьях стевии, выращенной в Краснодарском крае (мг/кг): Zn – 11.2, Cu – 5.8, Mg – 870.0, Na – 1010.0, Fe – 454.2, K – 5260.8, Ca – 4402.1, Pb – 1.11, Cd – 0.01, Ni – 4.7. Данные по элементному составу листьев стевии из разных регионов мира приведены в работах иностранных исследователей [6, 16, 39, 40].

В исследованиях [82] по влиянию элементов питания на рост стевии и содержание СГ, проведенных в гидропонной культуре, было показано, что прежде всего дефицит азота и фосфора, а также серы, магния и кальция приводил к достоверному снижению содержания хлорофилла и фотосинтетической активности, уменьшению массы листьев и общего содержания СГ в растении, в то время как дефицит калия несильно уменьшал значения этих показателей. Среди микроэлементов дефицит меди в наибольшей степени (более чем на 60%) снижал процентное содержание СГ, но не влиял на содержание хлорофилла и массу листьев, а дефицит железа, наоборот, достоверно уменьшал содержание хлорофилла и массу листьев и не влиял на процентное содержание СГ в листьях.

В.И. Трухачев и др. [76] при выращивании стевии в Ставропольском крае показали, что наибольшее влияние на накопление СГ оказывало внесение фосфора (60 кг/га), в то время как азот в большей степени влиял на накопление зеленой массы. При этом максимальное содержание (16.72%) и сбор СГ (4.41 ц/га) обеспечивало совместное внесение элементов питания (N60P60K60). В [86] показано, что при выращивании стевии в лесостепной зоне Украины оптимальной

также являлась доза N60P60K60, при которой масса растений по сравнению с контролем выросла на 38%, а масса сухих листьев – на 30%. Увеличение дозы всех или отдельных элементов питания до 120 кг/га не приводило к росту продуктивности растений. Наблюдали также повышение содержания СГ в листьях растений при применении лучшего варианта N60P60K60. Увеличение дозы фосфора до 120 кг/га несколько повышало содержание сладких гликозидов, а калия в той же дозе – снижало. В [87] и [69] также сообщается об эффективности применения доз удобрений N60P60K60, при этом в исследованиях [68] показано, что удвоенная доза N120P120K120 незначительно увеличивала биомассу стевии по сравнению с рекомендованной N60P60K60.

П.К. Пал и др. [57] провели в Индии в трех локациях с различными почвенно-климатическими условиями комплексное исследование влияния минерального питания (N 30–60–90 кг/га, P и K 20–40 кг/га) на урожай стевии и связанные с ним показатели. Авторы обнаружили, что урожай сухого листа везде достоверно последовательно возрастал при увеличении дозы N, в двух локациях из трех максимальный урожай был получен при N90P40K40. С другой стороны, общее содержание СГ было максимальным при N60–90 в зависимости от локации. Показано также, что почвенно-климатические условия наряду с содержанием основных элементов питания оказывали значительное влияние на урожай сухого листа и общее содержание СГ, однако содержание РА в меньшей степени зависело от минерального питания и факторов среды, являясь более стабильным показателем, зависящим от генотипа стевии.

К. Шивани и др. [74] в полевых экспериментах изучали влияние доз азота (50, 75 и 100 кг/га) и показали, что максимальный урожай сухого листа (2.63 т/га) был получен при дозе азота 100 кг/га, хотя самое высокое отношение массы листьев к массе надземной части (Harvest index) при незначительном уменьшении урожая сухого листа (2.5 т/га) получили при дозе азота 75 кг/га.

В экспериментах в горшечной культуре, проведенных на двух типах почв с моделированием разных уровней внесения азота (0–300 кг/га), максимальный урожай надземной массы стевии получен при высоких значениях – 200–300 кг/га [88]. Но в данном эксперименте авторы не анализировали содержание СГ. В свою очередь, К. Барбет-Массин и др. [89] сообщают, что содержание СГ на единицу сухого вещества листьев снижается при высоком уровне азотного питания. Сходный результат получили М. Карими и К. Моради [90]: в условиях теплицы максимальное содержание СГ наблюдалось при внесении азота в количестве 30 кг/га, максимальный урожай вегетативной массы – при 60 кг/га, а увеличение количества азота до 90–150 кг/га существенно не влияло на биомассу растений, но снижало содержание СГ в листьях. Приведенные примеры могут свидетельствовать о том, что избыток азотных удобрений увеличивает вегетативный статус стевии, снижая содержание СГ, которые накапливаются в листьях в наибольшем количестве при ее переходе к цветению.

Этот вывод подтверждают исследования [91], посвященные изучению влияния дифференцированного внесения азота на биомассу растений и урожай СГ. Максимальный урожай сухого листа был получен в вариантах, где наряду с основным внесением дважды за вегетацию проводили подкормки растений мочевиной. С другой стороны, процентное содержание СГ в листьях на период уборки

(бутонизация – начало цветения) было наибольшим в контрольном варианте, где азот не вносили (масса растений в этом варианте была минимальной), и в варианте, где весь азот вносили перед высадкой растений, а подкормки не применяли. Исследователи выявили достоверную отрицательную корреляцию между концентрацией азота в листьях и содержанием СГ на всех стадиях роста растений, что служит индикатором чувствительности метаболизма СГ к азотному статусу листьев. Однако общий урожай сладких гликозидов определяется комбинацией сухой биомассы листьев и процентного содержания СГ, поэтому максимальный выход СГ исследователи получили в вариантах, где подкормки вносили, но основная доля азота поступала к растениям на ранних стадиях роста посадок. Авторы предполагают, что во время вегетативного роста (от высадки рассады в поле и до середины стадии кущения) азот непосредственно регулирует прирост биомассы стевии в качестве необходимого элемента метаболизма белков и нуклеиновых кислот и особенно в фотосинтетических процессах аккумуляции углерода, в то время как при переходе к генеративной стадии развития он участвует в процессах вторичного метаболизма, включая синтез СГ, в большей степени, чем в приросте биомассы. По мере роста растений стевии вклад биомассы в урожай СГ снижается, при этом возрастает вклад процентного содержания СГ в листьях. В этом контексте представляется важным, что внесение азота должно преобладать на вегетативных стадиях роста растений стевии.

Во многих исследованиях показано, что культура стевии отзывчива на применение органических удобрений, которые способны повышать степень усвоения питательных веществ, производство биомассы и вторичных метаболитов. Так, в [92] при увеличении количества вносимого в почву коровьего навоза от 0 до 10 т/га происходило увеличение надземной массы стевии, выражающееся в прибавке урожайности до 280% по отношению к контролю. Кроме того, установлено, что внесение ряда органических и биоудобрений способствовало увеличению урожая листа и содержания СГ [93]. В [69] показано, что внесение 30 т/га навоза при выращивании стевии в лесостепной и степной зоне Украины способствовало прибавке сухой массы в количестве 1.63 т/га. К. Диас-Гутьеррес и др. [94] в экспериментах в горшечной культуре стевии показали, что применение минеральных удобрений в сочетании с куриным пометом повышало биомассу растений и урожай СГ на 23–117% по сравнению с контрольным вариантом, в котором применяли только минеральные удобрения.

5.6. Борьба с сорной растительностью. Выращивание стевии и уход за ней требуют значительных затрат ручного труда на борьбу с сорной растительностью на начальных стадиях роста растений, так как рассада стевии при высадке в поле адаптируется и отрастает довольно медленно [8, 56, 80, 95]. В отсутствие гербицидов применяется механический контроль за численностью сорняков в междурядьях и ручная прополка в рядах между растениями.

Применение гербицидов часто является необходимым приемом при промышленном выращивании на больших площадях, но при этом важен обоснованный подход к срокам обработки и дозам препарата. К.Ч. Харрингтон и др. [96] изучали действие 25 гербицидов, применяющихся перед посадкой и после высадки культуры, и выявили 14 из них с наименьшим негативным действием на рост

стевии. В работе [97] показано, что на посадках стевии возможно применять гербициды на основе пендиметалина, напронамида и диметенамида, в то время как прометрин, флуометурон и клопиралид оказались слишком токсичными для растений. В одном из сравнительных исследований [80] применения различных гербицидов, наиболее эффективным оказался Пролан 500 (действующее вещество оризалин). В более поздних исследованиях уточняется, что использование Пролана 500 в количестве 8,5 л/га значительно снижало содержание в растениях СТ и РА, а оптимальная доза препарата, не оказывающая негативного эффекта на накопление СГ, составляла 6,8 л/га [94].

Там, где это возможно, стевию рекомендуется выращивать на грядах, покрытых мульчирующей пленкой, в том числе биоразлагаемой, которая существенно помогает культуре снизить конкуренцию со стороны сорняков в начальный период роста [8]. Согласно данным [55], использование в качестве мульчи синтетического пленочного покрытия снижало затраты на работы по уходу за растениями, в том числе на прополку, на 80% по сравнению с контролем.

5.7. Болезни и вредители. По сравнению с другими культурами, стевия редко повреждается насекомыми-вредителями, способна сама отпугивать насекомых и также редко повреждается фитопатогенами. Но в некоторых случаях ущерб, наносимый вредителями и болезнями, приводит к значительным потерям из-за прямого снижения количества урожая или его качества (прежде всего из-за пятнистости листьев, вызванной патогенными грибами).

Молодые растения в теплицах повреждаются насекомыми (тля, белокрылка, паутинные клещи), что важно учитывать при размножении растений и производстве рассады. Посадки стевии в открытом грунте имеют довольно широкий спектр насекомых-вредителей, хотя существенных повреждений обычно не наблюдается. Среди вредителей отмечены различные виды кузнечиков, тля, белокрылка, паутинные клещи, улитки, слизни, различные виды нематод, чешуекрылые [8, 97, 99].

В неблагоприятных условиях стевия может поражаться грибными инфекциями, вызывающими появление листовой пятнистости, в ряде случаев – увядание и гибель растений. Среди возбудителей болезней выявлены представители родов *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Sclerotium*, *Colletotrichum*, *Septoria*, *Alternaria* и др. [8, 100]. Применение пестицидов и фунгицидов при выращивании стевии нежелательно, поэтому профилактика развития инфекций и распространения сорных растений и насекомых-вредителей – важный технологический аспект возделывания культуры. И.В. Наконечная и др. [99] сообщают о высокой эффективности беспестицидного контроля посадок с помощью энтомофагов по отношению к чешуекрылым вредителям.

Стевия, подобно большинству растений, не толерантна к монокультуре, и рекомендуется выращивать ее в севообороте, обычно после зерновых, для того чтобы избежать накопления в окружающей среде возбудителей болезней и вредителей [8].

Заключение

Стевия – культура, которая имеет высокий потенциал для возделывания на территории РФ, так как почвенно-климатические условия многих регионов

России благоприятны для получения высоких урожаев качественного растительного сырья. Необходимость расширения ее производства в нашей стране диктуется прежде всего спектром свойств, благодаря которым стевия (сухой лист и продукты его переработки) может и должна найти широкое применение в отечественной пищевой промышленности и медицине, как это уже произошло в странах Азии, Америки и Европы. Для повышения рентабельности производства стевии – увеличения урожая биомассы листьев высокого качества и СГ – требуются селекция высокоинтенсивных сортов, разработка и апробация сортовых технологий выращивания, включая технологию получения рассады высокого качества с хорошим адаптивным потенциалом при минимальных затратах, а также современное оборудование для механизации сельхозпроизводства с учетом информации, накопленной к настоящему времени в мировой научной литературе. Такие работы пока мало востребованы из-за низкого потребления продуктов стевии отечественным бизнесом (прежде всего вследствие недостаточности популяризации культуры и продуктов ее переработки среди широких слоев населения) и дешевизны китайского сырья, которое часто не является экологически чистым и безопасным. Забота о здоровье населения на фоне значительного роста числа больных диабетом I и II типа, увеличения числа людей с нарушениями метаболизма и лишним весом вследствие малоподвижного образа жизни и избыточного потребления сахара, а также ориентация современной экономики России на самообеспечение необходимым ассортиментом продуктов здорового питания должны сделать стевию одной из перспективных культур, востребованной отечественной пищевой промышленностью.

Литература

1. Khan S.A., Verma P., Rahman L.U., Parasharami V.A. Exploration of biotechnological studies in low-calorie sweetener *Stevia rebaudiana*: Present and future prospects: Ch. 13 // Medicinal and Aromatic Plants. Expanding Their Horizons through Omics / Ed. by T. Aftab, K.R. Hakeem. – Acad. Press, 2021. – P. 289–324. – doi: 10.1016/B978-0-12-819590-1.00013-6.
2. Singh D.P., Kumari M., Prakash H.G., Rao G.P., Solomon S. Phytochemical and pharmacological importance of stevia: A calorie-free natural sweetener // Sugar Tech. – 2019. – V. 21, No 2. – P. 227–234. – doi: 10.1007/s12355-019-00704-1.
3. Wang J., Zhao H., Wang Y., Lau H., Zhou W., Chen C., Tan S. A review of stevia as a potential healthcare product: Up-to-date functional characteristics, administrative standards and engineering techniques // Trends Food Sci. Technol. – 2020. – V. 103. – P. 264–281. – doi: 10.1016/j.tifs.2020.07.023.
4. Samuel P., Ayoob K.T., Magnuson B.A., Wölwer-Rieck U., Jeppesen P.B., Rogers P.J., Rowland I., Mathews R. Stevia leaf to stevia sweetener: Exploring its science, benefits, and future potential // J. Nutr. – 2018. – V. 148, No 7. – P. 1186S–1205S. – doi: 10.1093/jn/nxy102.
5. Трухачев В.И., Стародубцева Г.П., Безгина Ю.А., Любая С.И., Веселова М.В. Перспективы выращивания стевии и производство продукции на ее основе // Вестн. АПК Ставрополя. – 2012. – № 1. – С. 22–25.
6. Gupta E., Purwar S., Sundaram S., Rai G.K. Nutritional and therapeutic values of *Stevia rebaudiana*: A review // J. Med. Plants Res. – 2013. – V. 7, No 46. – P. 3343–3353. – doi: 10.5897/JMPR2013.5276.

7. Savita S.M., Sheela K., Sunanda S., Shankar A.G., Ramakrishna P. *Stevia rebaudiana* – a functional component for food industry // J. Hum. Ecol. – 2004. – V. 15, No 4. – P. 261–264. – doi: 10.1080/09709274.2004.11905703.
8. Angelini L.G., Martini A., Passera B., Tavarini S. Cultivation of *Stevia rebaudiana* Bertoni and associated challenges // Sweeteners. Reference Series in Phytochemistry / Ed. by J.M. Mérillon, K. Ramawat. – Springer Cham, 2018. – Pt. 1. – P. 35–85. – doi: 10.1007/978-3-319-27027-2_8.
9. *Stevia* Market by Extract Type (Whole Leaf, Powdered, Liquid), Application (Dairy, Bakery & Confectionery, Tabletop Sweeteners, Beverages, Convenience Foods), Form (Dry, Liquid), and Region – Global Forecasts to 2022. – May, 2017. – URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/stevia-market-167065378.html>.
10. Эштулатов Ш.Я., Тешибоев Н.И., Мамадалиев М.З.У. Интродукция, свойства и выращивание лекарственного растения стевия в условиях Ферганского долины // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). – 2021. – Т. 2, № 2. – С. 37–41. – doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.2.83.1253.
11. Позднякова В.Ф., Сенченко М.А. Производство холодного черного чая с натуральным заменителем сахара-стевией [*Stevia rebaudiana* Bertoni (L.)] // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Пищевые и биотехнологии». – 2019. – Т. 7, № 2. – С. 81–88. – doi: 10.14529/food190209.
12. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>.
13. Кочетков М.В. Девять уроков «экономического чуда» Китая российскому аграрному сектору // Сб. тр. конф. «Государственная аграрно-правовая политика в современной России», Красноярск, 28 июня 2016 г. – Красноярск: Изд-во Краснояр. гос. аграрного ун-та, 2017. – С. 158–178.
14. Кочетов А.А. Перспективы выращивания стевии [*Stevia rebaudiana* Bertoni (L.)] в Нечерноземной зоне России // Аграрная Россия. – 2012. – № 2. – С. 2–4. – doi: 10.30906/1999-5636-2012-2-2-4.
15. Ceunen S., Geuns J.M.C. Steviol glycosides: Chemical diversity, metabolism, and function // J. Nat. Prod. – 2013. – V. 76, No 6. – P. 1201–1228. – doi: 10.1021/np400203b.
16. Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Zura-Bravo L., Ah-Hen K. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a highpotency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects // Food Chem. – 2012. – V. 132, No 3. – P. 1121–1132. – doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.140.
17. Wölwer-Rieck U. The leaves of *Stevia rebaudiana* (Bertoni), their constituents and the analyses thereof: A review // J. Agric. Food Chem. – 2012. – V. 60, No 4. – P. 886–895. – doi: 10.1021/jf2044907.
18. Munz S., Präger A., Merkt N., Claupein W., Graeff-Hönninger S. Leaf area index, light interception, growth and steviol glycoside formation of *Stevia rebaudiana* Bertoni under field conditions in southwestern Germany // Ind. Crops Prod. – 2018. – V. 111. – P. 520–528. – doi: 10.1016/j.indcrop.2017.11.021.
19. Brandle J.E., Starratt A.N., Gijzen M. *Stevia rebaudiana*: Its agricultural, biological, and chemical properties // Can. J. Plant Sci. – 1998. – V. 78, No 4. – P. 527–536. – doi: 10.4141/P97-114.
20. Сурхаев Г.А., Маховикова Т.Ф., Стародубцева Г.П., Любая С.И., Безгина Ю.А. Модификационная изменчивость стевии в плантационной культуре Восточного Предкавказья // Вестн. АПК Ставрополя. – 2017. – № 4. – С. 119–122.

21. Ромашова М.В., Барсукова Е.Н., Парфенова Т.В., Боярова М.Д. Интродукция стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni) в Приморском крае // Достижения науки и техники АПК. – 2014. – Т. 28, № 10. – С. 37–39.
22. Кононова Е.А., Кривенко А.А., Чухлебова Н.С. Индукция цветения и семенная продуктивность ди- и тетраплоидных сортов стевии на черноземе выщелоченном Центрального Предкавказья // Науч. журн. КубГАУ. – 2012. – № 76. – С. 236–250.
23. Дубянский М.М., Жужжалова Т.П. Органогенез стевии (*Stevia rebaudiana*, Asteraceae) // Проблемы ботаники на рубеже XX – XXI веков: Тез. докл. 2 (X) съезда Рус. ботан. о-ва. – СПб.: Ботан. ин-т РАН, 1998. – Т. 2. – С. 289–290.
24. Kumar R., Sharma S.K. Effect of light and temperature on seed germination of important medicinal and aromatic plants in north western Himalayas // Int. J. Med. Aromat. Plants. – 2012. – V. 2, No 3. – P. 468–475.
25. Yoneda Y., Shimizu H., Nakashima H., Miyasaka J., Ohdoi K. Effects of light intensity and photoperiod on improving steviol glycosides content in *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni while conserving light energy consumption // J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants. – 2017. – V. 7. – P. 64–73. – doi: 10.1016/j.jarmap.2017.06.001.
26. Кочетов А.А., Демина Н.В., Ульяновский Н.В., Канарская З.А., Канарский А.В. Накопление дитерпеновых гликозидов в листьях разных генотипов *Stevia rebaudiana* Bertoni при изменении длины дня // Химия растительного сырья. – 2015. – № 1. – С. 121–126. – doi: 10.14258/jcprm.201501470.
27. Ермаков Е.И., Кочетов А.А. Особенности роста и развития растений стевии при разных световых режимах в регулируемых условиях // Докл. РАСХН. – 1996. – № 1. – С. 8–9.
28. Сикорская С.Б. Биолого-морфологические особенности стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni) при интродукции в условиях ЦЧЗ России: Автореф. ... дис. канд. биол. наук. – Курск, 2004. – 24 с.
29. Кустова О.К. Биоморфологическая характеристика *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsl. в генеративном возрастном состоянии // Промышленная ботаника. – 2013. – № 13. – С. 252–258.
30. Shock C.C. Rebaudi's stevia: Natural noncaloric sweeteners // Calif. Agric. – 1982. – V. 36, No 9. – P. 4–5.
31. Sumida T. Studies of *Stevia rebaudiana* Bertoni as a new possible crop for sweetening recourse in Japan // J. Cent. Agric. Exp. Stn. – 1980. – V. 31, No 1. – P. 67–71.
32. Karimi M., Ahmadi A., Hashemi J., Abbasi A., Tavarini S., Guglielminetti L., Angelini L.G. The effect of soil moisture depletion on stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) grown in greenhouse conditions: Growth, steviol glycosides content, soluble sugars and total antioxidant capacity // Sci. Hortic. – 2015. – V. 183. – P. 93–99. – doi: 10.1016/j.scienta.2014.11.001.
33. Sivaram L., Mukundan U. In vitro culture studies on *Stevia rebaudiana* // In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant. – 2003. – V. 39, No 5. – P. 520–523. – doi: 10.1079/IVP2003438.
34. Хроленко Ю.А., Горпенченко Т.Ю., Яцунская М.С., Ромашова М.В., Барсукова Е.Н. Некоторые аспекты адаптации стевии *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni в Приморском крае в условиях новой агротехники // Вестн. ДВО РАН. – 2016. – № 2. – С. 84–88.
35. Асадулаев З.М., Гаджиева З.К. Некоторые особенности семенного и клонового воспроизводства *Stevia rebaudiana* Bertoni в условиях Дагестана // Юг России: экология, развитие. – 2008. – Т. 3, № 3. – С. 22–28. – doi: 10.18470/1992-1098-2008-3-22-28.
36. Ахматов М.К., Абдраштова Ж.К., Туголова Б.О. Особенности всхожести семян *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsley в Чуйской долине // Современное состояние и перспективы сохранения биоразнообразия растительного мира: Материалы междунар. науч. конф., посвящ. 85-летию д.б.н. К.А. Ахматова и 80-летию чл.-корр. НАН

- КР, д.б.н. В.П. Криворучко / Под ред. Кенжебаевой Н.В., Кочкумбаева Т.А., Мало-сиевой Г.В., Поповой И.В. – Бишкек, 2017. – С. 25–31.
37. Nakamura S., Tamura Y. Variation in the main glycosides of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) // Jpn. J. Trop. Agric. – 1985. – V. 29, No 2. – P. 109–115. – doi: 10.11248/jsta1957.29.109.
 38. Kumar R., Sharma S., Sood S. Yield components, light interception and marker compound accumulation of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) affected by planting material and plant density under western Himalayan conditions // Arch. Agron. Soil Sci. – 2014. – V. 60, No 12. – P. 1731–1745. – doi: 10.1080/03650340.2014.909029.
 39. Gasmalla M.A.A., Yang R., Hua X. *Stevia rebaudiana* Bertoni: An alternative sugar replacer and its application in food industry // Food Eng. Rev. – 2014. – V. 6, No 4. – P. 150–162. – doi: 10.1007/s12393-014-9080-0.
 40. Abou-Arab A.E., Abou-Arab A.A., Abu-Salem M.F. Physico-chemical assessment of natural sweeteners steviosides produced from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant // Afr. J. Food Sci. – 2010. – V. 4, No 5. – P. 269–281. – doi: 10.21608/jfds.2009.115819.
 41. Geuns J.M.C. Stevioside // Phytochemistry. – 2003. – V. 64, No 5. – P. 913–921. – doi: 10.1016/S0031-9422(03)00426-6.
 42. Ceunen S., Geuns J.M.C. Influence of photoperiodism on the spatio-temporal accumulation of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana* (Bertoni) // Plant Sci. – 2013. – V. 198. – P. 72–82. – doi: 10.1016/j.plantsci.2012.10.003.
 43. Barbet-Massin C., Giuliano S., Alletto L., Daydé J., Berger M. Towards a semi-perennial culture of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni under temperate climate: Effects of genotype, environment and plant age on steviol glycoside content and composition // Genet. Resour. Crop Evol. – 2016. – V. 63, No 4. – P. 685–694. – doi: 10.1007/s10722-015-0276-9.
 44. Jyoti J., Kaur M., Mishra V., Mittal A. Sweet future of stevia: A magical sweetener // Asian J. Pharm. Clin. Res. – 2018. – V. 11, No 2. – P. 36–42. – doi: 10.22159/ajpcr.2018.v11i2.20295.
 45. Кочетов А.А., Синявина Н.Г. Стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni): биохимический состав, терапевтические свойства и использование в пищевой промышленности (обзор) // Химия растительного сырья. – 2021. – № 2. – С. 5–27. – doi: 10.14258/jcrpm.2021027931.
 46. Чхан К.В., Мойсеяк М.Б., Абеян В.А. Вкусовой профиль сладких гликозидов стевии ребаудиана и их модифицированных производных // Пищевая промышленность. – 2019. – № 7. – С. 41–45. – doi: 10.24411/0235-2486-2019-10111.
 47. Qiao Z., Liu H., Sui J.-J., Liao J.-X., Tu Y.-H., Schmidt R.R., Sun J.-S. Diversity-oriented synthesis of steviol glycoside // J. Org. Chem. – 2018. – V. 83, No 19. – P. 11480–11492. – doi: 10.1021/acs.joc.8b01274.
 48. Brandle J.E., Telmer P.G. Steviol glycoside biosynthesis // Phytochemistry. – 2007. – V. 68, No 14. – P. 1855–1863. – doi: 10.1016/j.phytochem.2007.02.010.
 49. Ladygin V.G., Bondarev N.I., Semenova G.A., Smolov A.A., Reshetnyak O.V., Nosov A.M. Chloroplast ultrastructure, photosynthetic apparatus activities and production of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana* *in vivo* and *in vitro* // Biol. Plant. – 2008. – V. 52, No 1. – P. 9–16. – doi: 10.1007/s10535-008-0002-y.
 50. Nasrullah N., Ahmad J., Saifi M., Rafiqi U., Quadri N., Shah I.G., Abdin M.Z. Metabolic profiling and expression analysis of key genes during leaf maturation of *Stevia rebaudiana* Bertoni // Pharmacogn. Mag. – 2018. – V. 14, No 57. – P. 327–334. – doi: 10.4103/pm.pm_554_17.
 51. Ucar E., Ozyigit Y., Eruygur N., Güven D., Yur S., Turgut K., Kütük N. The effect of the plant age and growth period on the nutritional substance, chlorophyll and steviol glycoside rates in *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaves // Commun. Soil Sci. Plant Anal. – 2018. – V. 49, No 3. – P. 291–302. – doi: 10.1080/00103624.2018.1424894.

52. Gawel-Bęben K., Bujak T., Nizioł-Lukaszewska Z., Antosiewicz B., Jakubczyk A., Karaś M., Rybczyńska K. *Stevia rebaudiana* Bert. leaf extracts as a multifunctional source of natural antioxidants // *Molecules*. – 2015. – V. 20, No 4. – P. 5468–5486. – doi: 10.3390/molecules20045468.
53. Lemus-Mondaca R., Ah-Hen K., Vega-Gálvez A., Honores C., Moraga N.O. *Stevia rebaudiana* leaves: Effect of drying process temperature on bioactive components, antioxidant capacity and natural sweeteners // *Plant Foods Hum. Nutr.* – 2016. – V. 71, No 1. – P. 49–56. – doi: 10.1007/s11130-015-0524-3.
54. Clemente C., Angelini L.G. Ascrizzi R., Tavarini S. *Stevia rebaudiana* (Bertoni) as a multifunctional and sustainable crop for the Mediterranean climate // *Agriculture*. – 2021. – V. 11, No 2. – Art. 123, P. 1–17. – doi: 10.3390/agriculture11020123.
55. Маховикова Т.Ф., Сивцева С.Н., Рыбаилькова Л.П. Интродукция и перспективы выращивания стевии в Западном Прикаспии // *Изв. Нижневолж. агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. – 2018. – № 3. – С. 191–196.
56. Rank A.H., Midmore D.J. *Stevia* – an intense, natural sweetener: Laying the groundwork for a new rural industry: A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation. – Barton, ACT: Rural Ind. Res. Dev. Corp., 2006. – vi, 20 p.
57. Pal P.K., Kumar R., Guleria V., Mahajan M., Prasad R., Pathania V., Gill B.S., Singh D., Chand G., Singh B., Singh R.D., Ahuja P.S. Crop-ecology and nutritional variability influence growth and secondary metabolites of *Stevia rebaudiana* Bertoni // *BMC Plant Biol.* – 2015. – V. 15. – Art. 67, P. 1–16. – doi: 10.1186/s12870-015-0457-x.
58. Hastoy C., Cosson P., Cavaignac S., Boutié P., Waffo-Teguo P., Rolin D., Schurdi-Levraud V. Deciphering performances of fifteen genotypes of *Stevia rebaudiana* in southwestern France through dry biomass and steviol glycoside evaluation // *Ind. Crops Prod.* – 2019. – V. 128. – P. 607–619. – doi: 10.1016/j.indcrop.2018.09.053.
59. Pacifico S., Piccolella S., Nocera P., Tranquillo E., Dal Poggetto F., Catauro M. Steviol glycosides content in cultivated *Stevia rebaudiana* Bertoni: A new sweet expectation from the Campania region (Italy) // *J. Food Compos. Anal.* – 2017. – V. 63. – P. 111–120. – doi: 10.1016/j.jfca.2017.07.041.
60. Parris C.A., Shock C.C., Qian M. Dry leaf and steviol glycoside productivity of *Stevia rebaudiana* in the Western United States // *HortScience*. – 2016. – V. 51, No 10. – P. 1220–1227. – doi: 10.21273/HORTSCI11149-16.
61. Жабина В.И., Есаулко Н.А., Кривенко А.А., Романенко Е.С., Гурская О.А., Селиванова М.В., Чернов А.И., Сосюра Е.А., Нуднова А.Ф., Юхнова А.А. Агробиологические особенности диплоидных сортов стевии // *Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков*. – 2014. – № 5. – С. 49–55.
62. Moraes R.M., Donega M.A., Cantrell C.L., Mello S.C., McChesney J.D. Effect of harvest timing on leaf production and yield of diterpene glycosides in *Stevia rebaudiana* Bert: A specialty perennial crop for Mississippi // *Ind. Crops Prod.* – 2013. – V. 51. – P. 385–389. – doi: 10.1016/j.indcrop.2013.09.025.
63. Khiraoui A., Boulli A., Amchra F.Z., Benhmimou A., Douaik A., Hasib A., Bakha M., Al Faiz C. Properties of genotype and environment on diterpene glycosides content and composition of the sweet herb, *Stevia Rebaudiana* Bertoni cultivated in Morocco // *Pharma Chem.* – 2018. – V. 10, No 7. – P. 158–165.
64. Segura-Campos M., Barbosa-Martín E., Matus-Basto Á., Cabrera-Amaro D., Murguía-Olmedo M., Moguel-Ordoñez Y., Betancur-Ancona D. Comparison of chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) varieties cultivated in Mexican Southeast // *Am. J. Plant Sci.* – 2014. – V. 5, No 3. – P. 286–293. – doi: 10.4236/ajps.2014.53039.

65. Dyduch-Siemska M., Najda A., Gawroński J., Balant S., Świca K., Żaba A. *Stevia Rebaudiana* Bertoni, a source of high-potency natural sweetener – biochemical and genetic characterization // *Molecules*. – 2020. – V. 25, No 4. – Art. 767, P. 1–12. – doi: 10.3390/molecules25040767.
66. Cosson P., Hastoy C., Errazzu L.E., Budeguer C.J., Boutié P., Rolin D., Schurdi-Levraud V. Genetic diversity and population structure of the sweet leaf herb, *Stevia rebaudiana* B., cultivated and landraces germplasm assessed by EST-SSRs genotyping and steviol glycosides phenotyping // *BMC Plant Biol.* – 2019. – V. 19. – Art. 436, P. 1–11. – doi: 10.1186/s12870-019-2061-y.
67. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1: Сорта растений. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – URL: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf.
68. Tavarini S., Passera B., Angelini L.G. Crop and steviol glycoside improvement in *Stevia* by breeding // *Steviol Glycosides: Cultivation, Processing, Analysis and Applications in Food*. – 2018. – Ch. 1. – P. 1–31. – doi: 10.1039/9781788010559-00001.
69. Ермантраут Е.Р., Стефанюк В.Й. Біологічні і агротехнічні основи вирощування стевії медової (*Stevia rebaudiana* Bertoni) в лісостепу і степу України // *Агробіологія*. – 2019. – № 1. – С. 47–54.
70. Hajhashemi S., Noedoost F., Geuns J.M.C., Djalovic I., Siddique K.H.M. Effect of cold stress on photosynthetic traits, carbohydrates, morphology, and anatomy in nine cultivars of *Stevia rebaudiana* // *Front. Plant Sci.* – 2018. – V. 9. – Art. 1430, P. 1–12. – doi: 10.3389/fpls.2018.01430.
71. Vasilakoglou I., Kalfountzos D., Gougoulis N., Reppas C. Productivity of two stevia varieties under reduced irrigation and fertilization inputs // *Arch. Agron. Soil Sci.* – 2016. – V. 62, No 4. – P. 457–472. – doi: 10.1080/03650340.2015.1060554.
72. Gomes E.N., Moterle D., Biasi L.A., Koehler H.S., Kanis L.A., Deschamps C. Plant densities and harvesting times on productive and physiological aspects of *Stevia rebaudiana* Bertoni grown in southern Brazil // *An. Acad. Bras. Cienc.* – 2018. – V. 90, No 4. – P. 3249–3264. – doi: 10.1590/0001-3765201820170510.
73. Benhmimou A., Ibriz M., Al Faiz C., Gaboun F., Douaik A., Amchra F.Z., Khiraoui A., Lage M. Effects of planting density and harvesting time on productivity of natural sweetener plant (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) in Larache region, Morocco // *Int. J. Plant Res.* – 2017. – V. 7, No 4. – P. 83–89. – doi: 10.5923/j.plant.20170704.01.
74. Shivani K., Gautam G. Influence of different levels of nitrogen on yield and economics of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under different planting geometry // *Int. J. Chem. Stud.* – 2019. – V. 7, No 3. – P. 806–809.
75. Taleie N., Hamidoghli Y., Rabiei B., Hamidoghli S. Effects of plant density and transplanting date on herbage, stevioside, phenol and flavonoid yield of *Stevia rebaudiana* Bertoni // *Int. J. Agric. Crop Sci.* – 2012. – V. 4, No 6. – P. 298–302.
76. Трухачев В.И., Стародубцева Г.П., Кривенко А.А., Жабина В.И. Агробиологические особенности стевии *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Немсей сорта Рамонская сладена при введении в культуру в Ставропольском крае // *Усп. соврем. естествознания*. – 2006. – № 4. – С. 99–100.
77. Анишин С.Л. Влияние площади питания стевии на урожай сухого листа в Западной лесостепи Украины // *Введение в культуру стевии – источника низкокалорийного заменителя сахара*. – Киев: ВНИС, 1990. – С. 63–66.
78. Parris C.A., Shock C.C., Qian M. Soil water tension irrigation criteria affects *Stevia rebaudiana* leaf yield and leaf steviol glycoside composition // *HortScience*. – 2017. – V. 52, No 1. – P.154–161. – doi: 10.21273/HORTSCI11352-16.

79. Hajhashemi S., Geuns J.M.C. Gene transcription and steviol glycoside accumulation in *Stevia rebaudiana* under polyethylene glycol-induced drought stress in greenhouse cultivation // FEBS Open Bio. – 2016. – V. 6, No 9. – P. 937–944. – doi: 10.1002/2211-5463.12099.
80. Midmore D.J., Rank A.H., Walsh K.B., Reyes R., Kafle G.G., Hopkins K.C. Further Development of the Stevia Natural Sweetener Industry. – Canberra, ACT: Rural Ind. Res. Dev. Corp., 2012. – xvi, 107 p.
81. Shock C.C. Experimental cultivation of Rebaudi's stevia in California: Agronomy Progress Report No. 122. – Davis: Univ. of Calif., 1982. – 8 p.
82. Kafle G.G., Midmore D.J., Gautam R. Effect of nutrient omission and pH on the biomass and concentration and content of steviol glycosides in stevia (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni) under hydroponic conditions // J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants. – 2017. – V. 7. – P. 136–142. – doi: 10.1016/j.jarmap.2017.08.001.
83. Fallah F., Nokhasi F., Ghaheri M., Kahrizi D., Beheshti Ale Agha A., Ghorbani T., Kazemi E., Ansarypour Z. Effect of salinity on gene expression, morphological and biochemical characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertoni under *in vitro* conditions // Cell. Mol. Biol. – 2017. – V. 63, No 7. – P. 102–106. – doi: 10.14715/cmb/2017.63.7.17.
84. Debnath M., Ashwath N., Hill C.B., Callahan D.L., Dias D.A., Jayasinghe N.S., Midmore D.J., Roessner U. Comparative metabolic and ionic profiling of two cultivars of *Stevia rebaudiana* Bert. (Bertoni) grown under salinity stress // Plant Physiol. Biochem. – 2018. – V. 129. – P. 56–70. – doi: 10.1016/j.plaphy.2018.05.001.
85. Ситничук И.Ю., Стрижева Е.Н., Ефремов А.А., Первышина Г.Г. Разработка эффективного способа выделения суммы дитерпеновых гликозидов из *Stevia rebaudiana* Bertoni // Химия растительного сырья. – 2002. – № 3. – С. 73–75.
86. Ксенз Л.И., Сичкар Л.А., Корчак В.В. Действие удобрений на продуктивность стевии // Введение в культуру стевии – источника низкокалорийного заменителя сахара. – Киев: ВНИС, 1990. – С. 58–62.
87. Кузнецова И.В. Изучение эффективности органической технологии возделывания стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni) // Изв. Горск. гос. агр. ун-та. – 2015. – Т. 52, № 3. – С. 15–20.
88. Maniruzzaman M., Chowdhury M.A.H., Mohiuddin K.M., Chowdhury T. Nitrogen requirement and critical N content of stevia grown in two contrasting soils of Bangladesh // Res. Agric., Livest. Fish. – 2016. – V. 3, No 1. – P. 87–97. – doi: 10.3329/ralf.v3i1.27862.
89. Barbet-Massin C., Giuliano S., Alletto L., Daydé J., Berger M. Nitrogen limitation alters biomass production but enhances steviol glycoside concentration in *Stevia rebaudiana* Bertoni // PLoS One. – 2015. – V. 10, No 7. – Art. e0133067, P. 1–16. – doi: 10.1371/journal.pone.0133067.
90. Karimi M., Moradi K. The response of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) to nitrogen supply under greenhouse condition // J. Plant Nutr. – 2018. – V. 41, No 13. – P. 1695–1704. – doi: 10.1080/01904167.2018.1459692.
91. Sun Y., Yang Y., Hou M., Huang X., Zhang T., Huang S., Yuan H. Optimized nitrogen topdressing strategies enhance steviol glycoside productivity in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) plants // J. Soil Sci. Plant Nutr. – 2020. – V. 20, No 3. – P. 1133–1143. – doi: 10.1007/s42729-020-00199-w.
92. Zaman M.M., Chowdhury T., Nahar K., Chowdhury M.A.H. Effect of cow dung as organic manure on the growth, leaf biomass yield of *Stevia rebaudiana* and post harvest soil fertility // J. Bangladesh Agric. Univ. – 2017. – V. 15, No 2. – P. 206–211. – doi: 10.3329/jbau.v15i2.35064.

93. *Umeha K., Smitha G.R., Sreeramu B.S., Waman A.A.* Organic manures and biofertilizers effectively improve yield and quality of stevia (*Stevia rebaudiana*) // *J. Appl. Hortic.* – 2011. – V. 13, No 2. – P. 157–162. – doi: 10.37855/jah.2011.v13i02.36.
94. *Díaz-Gutiérrez C., Hurtado A., Ortíz A., Poschenrieder C., Arroyave C., Peláez C.* Increase in steviol glycosides production from *Stevia rebaudiana* Bertoni under organo-mineral fertilization // *Ind. Crops Prod.* – 2020. – V. 147. – Art. 112220. – doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112220.
95. *Hopkins K.C., Midmore D.J.* Assessment of herbicides for use on the sweet herb, *Stevia rebaudiana* in the tropics // *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* – 2015. – V. 90, No 5. – P. 530–536. – doi: 10.1080/14620316.2015.11668710.
96. *Harrington K.C., Southward R.C., Kitchen K.L., He X.Z.* Investigation of herbicides tolerated by *Stevia rebaudiana* crops // *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.* – 2011. – V. 39, No 1. – P. 21–33. – doi: 10.1080/01140671.2010.520165.
97. *Zachokostas P.* Effects of chemical weed management on the quantitative and qualitative characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertoni, under Mediterranean conditions (Karditsa, Thessaly, Greece) // *Stevia: Growth in Knowledge and Taste. Proc. 8th Stevia Symp. 2015 of European Society of Stevia (EUSTAS)* / Ed. by S. Ceunen, J.M.C. Geuns. – Bonn, 2015. – P. 5–12.
98. *Bazazo K.G.I., Ibrahim A.S.M., Salem F.A.* Insect pests of sugar honey leaf, *Stevia rebaudiana* Bertoni and associated natural enemies in Egypt // *J. Plant Prot. Pathol.* – 2012. – V. 3, No 10. – P. 1059–1066. – doi: 10.21608/jppp.2012.84394.
99. *Наконечная И.В., Щербатов Н.А., Кошелева О.В., Костюков В.В., Гунашева З.М.* Контроль чешуекрылых вредителей стевии без применения инсектицидов // *Защита и карантин растений.* – 2015. – № 7. – С. 50–51.
100. *Arturo M.C., Torres González C., Peña E.J., Díaz J.E.* Microorganismos patógenos de *Stevia rebaudiana* Bertoni // *Bioagro.* – 2009. – V. 21, No 3. – P. 173–178.

Поступила в редакцию
08.04.2021

Синявина Надежда Георгиевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологической генетики и селекции растений

Агрофизический научно-исследовательский институт
Гражданский пр. д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Россия
E-mail: sinad@inbox.ru

Кочетов Алексей Александрович, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экологической генетики и селекции растений

Агрофизический научно-исследовательский институт
Гражданский пр. д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Россия
E-mail: kochetoval@yandex.ru

Егорова Ксения Вадимовна, аспирант, инженер лаборатории экологической генетики и селекции растений

Агрофизический научно-исследовательский институт
Гражданский пр. д. 14, г. Санкт-Петербург, 195220, Россия
E-mail: kseniia.v.egorova@gmail.com

REVIEW ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2022.1.46-75

Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): Biological Properties and Factors Affecting Plant Growth and Sweet Glycosides Accumulation

N.G. Sinyavina*, A.A. Kochetov**, K.V. Egorova***

Agrophysical Research Institute, St. Petersburg, 195220 Russia

E-mail: *sinad@inbox.ru, **kochetov@yandex.ru, ***ksenii.v.egorova@gmail.com

Received April 8, 2021

Abstract

Stevia rebaudiana Bertoni is well known because its leaves contain diterpene steviol glycosides. The main of them are stevioside and rebaudioside A, both have a sweetness about 250–350 times higher than sucrose and, hence, are popular natural low-calorie sugar substitutes in foodstuffs. Due to the complex biochemical composition of its leaves, stevia is also a pharmacologically and cosmetically valuable plant: its leaf extracts exhibit very high antioxidant properties comparable to those of green tea. This article is a detailed and up-to-date overview of the available data on the biological characteristics of stevia cultivars, as well as on a variety of factors affecting stevia growth, dry leaf yield, and steviol glycosides accumulation. The study is of practical interest to the agricultural industry: stevia has the potential to turn into a major crop in Russia as many regions here have growth conditions favorable to obtain high yields of ecologically safe stevia products (dry leaves of the best quality and sweet glycosides); using these products in the food industry will improve the public health. However, the Russian literature on stevia poorly covers the latest findings on how stevia depends on some key factors, such as genotypes, environment (soil and climate conditions, light intensity, temperature), diseases and pests, etc., thereby holding back the advance of agricultural technologies for growing stevia in Russia. The results obtained define and summarize the exact conditions necessary for obtaining high yields of stevia dry leaves and sweet glycosides, as well as the factors that must be taken into account both in industrial cultivation and in scientific research of stevia.

Keywords: stevia, biological characteristics, sweet glycosides, environmental factors, genetic diversity, yield

Figure Captions

Fig. 1. Molecular structure of steviol glycoside [40].

Fig. 2. Phenotypic differences between two *Stevia rebaudiana* cultivars [8].**References**

1. Khan S.A., Verma P., Rahman L.U., Parasharami V.A. Exploration of biotechnological studies in low-calorie sweetener *Stevia rebaudiana*: Present and future prospects. In: *Medicinal and Aromatic Plants. Expanding Their Horizons through Omics*. Ch. 13. Aftab T., Hakeem K.R. (Eds.). Acad. Press, 2021, pp. 289–324. doi: 10.1016/B978-0-12-819590-1.00013-6.
2. Singh D.P., Kumari M., Prakash H.G., Rao G.P., Solomon S. Phytochemical and pharmacological importance of stevia: A calorie-free natural sweetener. *Sugar Tech.*, 2019, vol. 21, no. 2, pp. 227–234. doi: 10.1007/s12355-019-00704-1.
3. Wang J., Zhao H., Wang Y., Lau H., Zhou W., Chen C., Tan S. A review of stevia as a potential healthcare product: Up-to-date functional characteristics, administrative standards and engineering techniques. *Trends Food Sci. Technol.*, 2020, vol. 103, pp. 264–281. doi: 10.1016/j.tifs.2020.07.023.

4. Samuel P., Ayoob K.T., Magnuson B.A., Wölwer-Rieck U., Jeppesen P.B., Rogers P.J., Rowland I., Mathews R. Stevia leaf to stevia sweetener: Exploring its science, benefits, and future potential. *J. Nutr.*, 2018, vol. 148, no. 7, pp. 1186S–1205S. doi: 10.1093/jn/nxy102.
5. Trukhachev V.I., Starodubtseva G.P., Bezgina Yu.A., Lyubaya S.I., Veselova M.V. Prospects for growing stevia and making products based on it. *Vestn. APK Stavrop.*, 2012, no. 1, pp. 22–25. (In Russian)
6. Gupta E., Purwar S., Sundaram S., Rai G.K. Nutritional and therapeutic values of *Stevia rebaudiana*: A review. *J. Med. Plants Res.*, 2013, vol. 7, no. 46, pp. 3343–3353. doi: 10.5897/JMPR2013.5276.
7. Savita S.M., Sheela K., Sunanda S., Shankar A.G., Ramakrishna P. *Stevia rebaudiana* – a functional component for food industry. *J. Hum. Ecol.*, 2004, vol. 15, no. 4, pp. 261–264. doi: 10.1080/09709274.2004.11905703.
8. Angelini L.G., Martini A., Passera B., Tavarini S. Cultivation of *Stevia rebaudiana* Bertoni and associated challenges. In: Mérillon J.M., Ramawat K. (Eds.) *Sweeteners. Reference Series in Phytochemistry*. Pt. 1. Springer, Cham, 2018, pp. 35–85. doi: 10.1007/978-3-319-27027-2_8.
9. *Stevia Market by Extract Type (Whole Leaf, Powdered, Liquid), Application (Dairy, Bakery & Confectionery, Tabletop Sweeteners, Beverages, Convenience Foods), Form (Dry, Liquid), and Region. – Global Forecasts to 2022*. May, 2017. Available at: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/stevia-market-167065378.html>.
10. Eshpulatov Sh.Ya., Teshaboev N.I., Mamadaliev M.Z.U. Introduction, properties, and cultivation of stevia, a medicinal plant, in the Fergana Valley. *Evrasiiskii Soyuz Uch. (ESU)*, 2021, vol. 2, no. 2, pp. 37–41. doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2021.2.83.1253. (In Russian)
11. Pozdnyakova V.F., Senchenko M.A. Production of cold black tea with stevia [*Stevia rebaudiana* Bertoni (L.)] as a natural sugar substitute. *Vestn. YuUrGU. Ser. "Pishch. Biotekhnol."*, 2019, vol. 7, no. 2, pp. 81–88. doi: 10.14529/food190209. (In Russian)
12. Food Security Doctrine of the Russian Federation. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/>. (In Russian)
13. Kochetkov M.V. Nine lessons from China's "economic miracle" to the Russian agricultural sector. *Sbornik trudov konferentsii "Gosudarstvennaya agrarno-pravovaya politika v sovremennoi Rossii"*, Krasnoyarsk, 28 iyunya 2016 g. [Proc. Conf. "State Agricultural Policy in Modern Russia", Krasnoyarsk, June 28, 2016]. Krasnoyarsk, Izd. Krasnoyarsk. Gos. Agrar. Univ., 2017, pp. 158–178. (In Russian)
14. Kochetov A.A. Prospects for growing stevia [*Stevia rebaudiana* Bertoni (L.)] in the non-chernozem zone of Russia. *Agrar. Ross.*, 2012, no. 2, pp. 2–4. doi: 10.30906/1999-5636-2012-2-2-4. (In Russian)
15. Ceunen S., Geuns J.M.C. Steviol glycosides: Chemical diversity, metabolism, and function. *J. Nat. Prod.*, 2013, vol. 76, no. 6, pp. 1201–1228. doi: 10.1021/np400203b.
16. Lemus-Mondaca R., Vega-Gálvez A., Zura-Bravo L., Ah-Hen K. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a highpotency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chem.*, 2012, vol. 132, no. 3, pp. 1121–1132. doi: 10.1016/j.foodchem.2011.11.140.
17. Wölwer-Rieck U. The leaves of *Stevia rebaudiana* (Bertoni), their constituents and the analyses thereof: A review. *J. Agric. Food Chem.*, 2012, vol. 60, no. 4, pp. 886–895. doi: 10.1021/jf2044907.
18. Munz S., Präger A., Merkt N., Claupein W., Graeff-Hönninger S. Leaf area index, light interception, growth and steviol glycoside formation of *Stevia rebaudiana* Bertoni under field conditions in southwestern Germany. *Ind. Crops Prod.*, 2018, vol. 111, pp. 520–528. doi: 10.1016/j.indcrop.2017.11.021.
19. Brandle J.E., Starratt A.N., Gijzen M. *Stevia rebaudiana*: Its agricultural, biological, and chemical properties. *Can. J. Plant Sci.*, 1998, vol. 78, no. 4, pp. 527–536. doi: 10.4141/P97-114.
20. Surkhaev G.A., Makhovikova T.F., Starodubtseva G.P., Any S.I., Bezgina Yu.A. Modification variability of stevia in the plantation crops of the eastern Ciscaucasian region. *Vestn. APK Stavrop.*, 2017, no. 4, pp. 119–122. (In Russian)
21. Romashova M.V., Barsukova E.N., Parfenova T.V., Boyarova M.D. The introduction of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) in the Primorsky region. *Dostizh. Nauki Tekh. APK*, 2014, vol. 28, no. 10, pp. 37–39. (In Russian)
22. Kononova E.A., Krivenko A.A., Chukhlebova N.S. Flowering induction and seed productivity of di- and tetraploid stevia varieties on leached chernozem of the central Ciscaucasian region. *Nauchn. Zh. KubGAU*, 2012, no. 76, pp. 236–250. (In Russian)

23. Dubyanskii M.M., Zhuzhzhhalova T.P. Organogenesis in stevia (*Stevia rebaudiana*, Asteraceae). *Problemy botaniki na rubezhe XX – XXI vekov: Tez. dokl. 2 (X) s'ezda Russkogo botanicheskogo obshchestva* [Problems of Botany at the Turn of the 20th–21st Centuries: Proc. 2nd (X) Conf. of the Russian Botanical Society]. Vol. 2. St. Petersburg, Bot. Inst. Ross. Acad. Nauk, 1998, pp. 289–290 (In Russian)
24. Kumar R., Sharma S.K. Effect of light and temperature on seed germination of important medicinal and aromatic plants in north western Himalayas. *Int. J. Med. Aromat. Plants*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 468–475.
25. Yoneda Y., Shimizu H., Nakashima H., Miyasaka J., Ohdoi K. Effects of light intensity and photoperiod on improving steviol glycosides content in *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni while conserving light energy consumption. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants*, 2017, vol. 7, pp. 64–73. doi: 10.1016/j.jarmap.2017.06.001.
26. Kochetov A.A., Demina N.V., Ul'ianovskii N.V., Kanarskaia Z.A., Kanarskii A.V. Accumulation diterpene glycosides in leaves of different genotypes of *Stevia rebaudiana* Bertoni depending upon changes in the day length. *Khim. Rastit. Syr'ya*, 2015, no. 1, pp. 121–126 (In Russian)
27. Ermakov E.I., Kochetov A.A. Specificities of the growth and development of stevia plants under different controlled light conditions. *Dokl. RASKhN*, 1996, no. 1, pp. 8–9. (In Russian)
28. Sikorskaya S.B. Biological and morphological features of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) when introduced in the Central Black Earth Region of Russia. *Extended Abstract of Cand. Biol. Sci. Kursk*, 2004. 24 p. (In Russian)
29. Kustova O.K. Biomorphological characteristics of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsl. in generative state. *Prom. Bot.*, 2013, no. 13, pp. 252–258. (In Russian)
30. Shock C.C. Rebaudi's stevia: Natural noncaloric sweeteners. *Calif. Agric.*, 1982, vol. 36, no. 9, pp. 4–5.
31. Sumida T. Studies of *Stevia rebaudiana* Bertoni as a new possible crop for sweetening recourse in Japan. *J. Cent. Agric. Exp. Stn.*, 1980, vol. 31, no. 1, pp. 67–71.
32. Karimi M., Ahmadi A., Hashemi J., Abbasi A., Tavarini S., Guglielminetti L., Angelini L.G. The effect of soil moisture depletion on stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) grown in greenhouse conditions: Growth, steviol glycosides content, soluble sugars and total antioxidant capacity. *Sci. Hortic.*, 2015, vol. 183, pp. 93–99. doi: 10.1016/j.scienta.2014.11.001.
33. Sivaram L., Mukundan U. *In vitro* culture studies on *Stevia rebaudiana*. *In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant.*, 2003, vol. 39, no. 5, pp. 520–523. doi: 10.1079/IVP2003438.
34. Khrolenko Yu.A., Gorpenchenko T.Yu., Yatsunskaya M.S., Romashova M.V., Barsukova E.N. Some aspects of adaptation of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni in the Primorsky region under the use of new agricultural techniques. *Vestn. DVO Ross. Akad. Nauk*, 2016, no. 2, pp. 84–88. (In Russian)
35. Asadulaev Z.M., Gadzhieva Z.K. Some features of seeds and clonal reproduction in *Stevia rebaudiana* Bertoni in Daghestan. *Yug Ross.: Ekol., Razvit.*, 2008, vol. 3, no. 3, pp. 22–28. doi: 10.18470/1992-1098-2008-3-22-28. (In Russian)
36. Akhmatov M.K., Abdrashitova Zh.K., Tugolova B.O. The germinating ability of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsley seeds in the Chüy Valley. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy sokhraneniya bioraznoobraziya rastitel'nogo mira: Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 85-letiyu d.b.n. Akhmatova K.A. i 80-letiyu chl.-korr. NAN KR Krivoruchko V.P.* [Current State and Prospects for the Protection of Plant Biodiversity: Proc. Int. Sci. Conf. Dedicated to the 85th Birth Anniversary of K.A. Akhmatov, Doctor of Biological Sciences, and to 80th Birth Anniversary of V.P. Krivoruchko, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of the Republic of Kyrgyzstan and Doctor of Biological Sciences]. Kenzhebaeva N.V., Kochkumbaeva T.A., Malosieva G.V., Popova I.V. (Eds.). Bishkek, 2017, pp. 25–31. (In Russian)
37. Nakamura S., Tamura Y. Variation in the main glycosides of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Jpn. J. Trop. Agric.*, 1985, vol. 29, no. 2, pp. 109–115. doi: 10.11248/jsta1957.29.109. (In Japanese)
38. Kumar R., Sharma S., Sood S. Yield components, light interception and marker compound accumulation of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) affected by planting material and plant density under western Himalayan conditions. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 2014, vol. 60, no. 12, pp. 1731–1745. doi: 10.1080/03650340.2014.909029.

39. Gasmalla M.A.A., Yang R., Hua X. *Stevia rebaudiana* Bertoni: An alternative sugar replacer and its application in food industry. *Food Eng. Rev.*, 2014, vol. 6, no. 4, pp. 150–162. doi: 10.1007/s12393-014-9080-0.
40. Abou-Arab A.E., Abou-Arab A.A., Abu-Salem M.F. Physico-chemical assessment of natural sweeteners steviosides produced from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant. *Afr. J. Food Sci.*, 2010, vol. 4, no. 5, pp. 269–281. doi: 10.21608/jfds.2009.115819.
41. Geuns J.M.C. Stevioside. *Phytochemistry*, 2003, vol. 64, no. 5, pp. 913–921. doi: 10.1016/S0031-9422(03)00426-6.
42. Ceunen S., Geuns J.M.C. Influence of photoperiodism on the spatio-temporal accumulation of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana* (Bertoni). *Plant Sci.*, 2013, vol. 198, pp. 72–82. doi: 10.1016/j.plantsci.2012.10.003.
43. Barbet-Massin C., Giuliano S., Alletto L., Daydé J., Berger M. Towards a semi-perennial culture of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) under temperate climate: Effects of genotype, environment and plant age on steviol glycoside content and composition. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 2016, vol. 63, no. 4, pp. 685–694. doi: 10.1007/s10722-015-0276-9.
44. Jyoti J., Kaur M., Mishra V., Mittal A. Sweet future of stevia: A magical sweetener. *Asian J. Pharm. Clin. Res.*, 2018, vol. 11, no. 2, pp. 36–42. doi: 10.22159/ajpcr.2018.v11i2.20295.
45. Kochetov A.A., Sinyavina N.G. *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni): Biochemical composition, therapeutic properties, and use in the food industry (review). *Khim. Rastit. Syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 5–27. doi: 10.14258/jcprm.2021027931. (in Russian)
46. Chkhan K.V., Moiseyev M.B., Abelyan V.A. Taste profile of sweet minorglycosides of *Stevia rebaudiana* and their modified derivatives. *Pishch. Prom-st.*, 2019, no. 7, pp. 41–45. doi: 10.24411/0235-2486-2019-10111. (In Russian)
47. Qiao Z., Liu H., Sui J.-J., Liao J.-X., Tu Y.-H., Schmidt R.R., Sun J.-S. Diversity-oriented synthesis of steviol glycoside. *J. Org. Chem.*, 2018, vol. 83, no. 19, pp. 11480–11492. doi: 10.1021/acs.joc.8b01274.
48. Brandle J.E., Telmer P.G. Steviol glycoside biosynthesis. *Phytochemistry*, 2007, vol. 68, no. 14, pp. 1855–1863. doi: 10.1016/j.phytochem.2007.02.010.
49. Ladygin V.G., Bondarev N.I., Semenova G.A., Smolov A.A., Reshetnyak O.V., Nosov A.M. Chloroplast ultrastructure, photosynthetic apparatus activities and production of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana* *in vivo* and *in vitro*. *Biol. Plant.*, 2008, vol. 52, no. 1, pp. 9–16. doi: 10.1007/s10535-008-0002-y.
50. Nasrullah N., Ahmad J., Saifi M., Rafiqi U., Quadri N., Shah I.G., Abidin M.Z. Metabolic profiling and expression analysis of key genes during leaf maturation of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Pharmacogn. Mag.*, 2018, vol. 14, no. 57, pp. 327–334. doi: 10.4103/pm.pm_554_17.
51. Ucar E., Ozyigit Y., Eruygur N., Güven D., Yur S., Turgut K., Kütük N. The effect of the plant age and growth period on the nutritional substance, chlorophyll and steviol glycoside rates in *Stevia* (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaves. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 2018, vol. 49, no. 3, pp. 291–302. doi: 10.1080/00103624.2018.1424894.
52. Gawęł-Bęben K., Bujak T., Nizioł-Łukaszewska Z., Antosiewicz B., Jakubczyk A., Karaś M., Rybczyńska K. *Stevia rebaudiana* Bert. leaf extracts as a multifunctional source of natural antioxidants. *Molecules*, 2015, vol. 20, no. 4, pp. 5468–5486. doi: 10.3390/molecules20045468.
53. Lemus-Mondaca R., Ah-Hen K., Vega-Gálvez A., Honores C., Moraga N.O. *Stevia rebaudiana* leaves: Effect of drying process temperature on bioactive components, antioxidant capacity and natural sweeteners. *Plant Foods Hum. Nutr.*, 2016, vol. 71, no. 1, pp. 49–56. doi: 10.1007/s11130-015-0524-3.
54. Clemente C., Angelini L.G., Ascrizzi R., Tavarini S. *Stevia rebaudiana* (Bertoni) as a multifunctional and sustainable crop for the Mediterranean climate. *Agriculture*, 2021, vol. 11, no. 2, art. 123, pp. 1–17. doi: 10.3390/agriculture11020123.
55. Makhovikova T.F., Sivtseva S.N., Rybashlykova L.P. Introduction and prospects of stevia in the western Caspian Sea region. *Izv. Nizhnevoltzh. Agrouniv. Kompleksa: Nauka Vyssh. Prof. Obraz.*, 2018, no. 3, pp. 191–196. (In Russian)
56. Rank A.H., Midmore D.J. *Stevia* – an intense, natural sweetener: Laying the groundwork for a new rural industry. *A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation*. Barton, ACT, Rural Ind. Res. Dev. Corp., 2006. vi, 20 p.

57. Pal P.K., Kumar R., Guleria V., Mahajan M., Prasad R., Pathania V., Gill B.S., Singh D., Chand G., Singh B., Singh R.D., Ahuja P.S. Crop-ecology and nutritional variability influence growth and secondary metabolites of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *BMC Plant Biol.*, 2015, vol. 15, art. 67, pp. 1–16. doi: 10.1186/s12870-015-0457-x.
58. Hastoy C., Cosson P., Cavaignac S., Boutié P., Waffo-Teguo P., Rolin D., Schurdi-Levraud V. Deciphering performances of fifteen genotypes of *Stevia rebaudiana* in southwestern France through dry biomass and steviol glycoside evaluation. *Ind. Crops Prod.*, 2019, vol. 128, pp. 607–619. doi: 10.1016/j.indcrop.2018.09.053.
59. Pacifico S., Piccolella S., Nocera P., Tranquillo E., Dal Poggetto F., Catauro M. Steviol glycosides content in cultivated *Stevia rebaudiana* Bertoni: A new sweet expectation from the Campania region (Italy). *J. Food Compos. Anal.*, 2017, vol. 63, pp. 111–120. doi: 10.1016/j.jfca.2017.07.041.
60. Parris C.A., Shock C.C., Qian M. Dry leaf and steviol glycoside productivity of *Stevia rebaudiana* in the Western United States. *HortScience*, 2016, vol. 51, no. 10, pp. 1220–1227. doi: 10.21273/HORTSCI11149-16.
61. Zhabina V.I., Esaulko N.A., Krivenko A.A., Romanenko E.S., Gurskaya O.A., Selivanova M.V., Chernov A.I., Sosyura E.A., Nudnova A.F., Yukhnova A.A. Agrobiological features of diploid stevia varieties. *S-kh. Nauki Agroprom. Kompleks Na Rubezhe Vekov*, 2014, no. 5, pp. 49–55. (In Russian)
62. Moraes R.M., Donega M.A., Cantrell C.L., Mello S.C., McChesney J.D. Effect of harvest timing on leaf production and yield of diterpene glycosides in *Stevia rebaudiana* Bert: A specialty perennial crop for Mississippi. *Ind. Crops Prod.*, 2013, vol. 51, pp. 385–389. doi: 10.1016/j.indcrop.2013.09.025.
63. Khiraoui A., Boulli A., Amchra F.Z., Benhmimou A., Douaik A., Hasib A., Bakha M., Al Faiz C. Properties of genotype and environment on diterpene glycosides content and composition of the sweet herb, *Stevia Rebaudiana* Bertoni cultivated in Morocco. *Pharma Chem.*, 2018, vol. 10, no. 7, pp. 158–165.
64. Segura-Campos M., Barbosa-Martín E., Matus-Basto Á., Cabrera-Amaro D., Murguía-Olmedo M., Moguel-Ordoñez Y., Betancur-Ancona D. Comparison of chemical and functional properties of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) varieties cultivated in Mexican Southeast. *Am. J. Plant Sci.*, 2014, vol. 5, no. 3, pp. 286–293. doi: 10.4236/ajps.2014.53039.
65. Dyduch-Siemińska M., Najda A., Gawroński J., Balant S., Świca K., Żaba A. *Stevia Rebaudiana* Bertoni, a source of high-potency natural sweetener – biochemical and genetic characterization. *Molecules*, 2020, vol. 25, no. 4, art. 767, pp. 1–12. doi: 10.3390/molecules25040767.
66. Cosson P., Hastoy C., Errazu L.E., Budeguer C.J., Boutié P., Rolin D., Schurdi-Levraud V. Genetic diversity and population structure of the sweet leaf herb, *Stevia rebaudiana* B., cultivated and landraces germplasm assessed by EST-SSRs genotyping and steviol glycosides phenotyping. *BMC Plant Biol.*, 2019, vol. 19, art. 436, pp. 1–11. doi: 10.1186/s12870-019-2061-y.
67. Gosudarstvennyi reestr selektsionnykh dostizhenii, dopushchennykh k ispol'zovaniyu [State Register of Breeding Achievements Approved for Use]. Vol. 1: Plant varieties. Moscow, FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020, p. 137. Available at: https://gossortrf.ru/wp-content/uploads/2020/03/FIN_reestr_dop_12_03_2020.pdf. (In Russian)
68. Tavarini S., Passera B., Angelini L.G. Crop and steviol glycoside improvement in *Stevia* by breeding. In: *Steviol Glycosides: Cultivation, Processing, Analysis and Applications in Food.*, 2018, ch. 1, pp. 1–31. doi: 10.1039/9781788010559-00001.
69. Ermantraut E., Stefanyuk V. Biological and agrotechnical bases of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) cultivation in the forest-steppe and steppe of Ukraine. *Agrobiologiya*, 2019, no. 1, pp. 47–54. (In Ukrainian)
70. Hajhashemi S., Noedoost F., Geuns J.M.C., Djalovic I., Siddique K.H.M. Effect of cold stress on photosynthetic traits, carbohydrates, morphology, and anatomy in nine cultivars of *Stevia rebaudiana*. *Front. Plant Sci.*, 2018, vol. 9, art. 1430, pp. 1–12. doi: 10.3389/fpls.2018.01430.
71. Vasilakoglou I., Kalfountzos D., Gougoulis N., Reppas C. Productivity of two stevia varieties under reduced irrigation and fertilization inputs. *Arch. Agron. Soil Sci.*, 2016, vol. 62, no. 4, pp. 457–472. doi: 10.1080/03650340.2015.1060554.
72. Gomes E.N., Moterle D., Biasi L.A., Koehler H.S., Kanis L.A., Deschamps C. Plant densities and harvesting times on productive and physiological aspects of *Stevia rebaudiana* Bertoni grown in southern Brazil. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 2018, vol. 90, no. 4, pp. 3249–3264. doi: 10.1590/0001-3765201820170510.

73. Benhmimou A., Ibriz M., Al Faiz C., Gaboun F., Douaik A., Amchra F.Z., Khiraoui A., Lage M. Effects of planting density and harvesting time on productivity of natural sweetener plant (*Stevia rebaudiana* Bertoni.) in Larache region, Morocco. *Int. J. Plant Res.*, 2017, vol. 7, no. 4, pp. 83–89. doi: 10.5923/j.plant.20170704.01.
74. Shivani K., Gautam G. Influence of different levels of nitrogen on yield and economics of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under different planting geometry. *Int. J. Chem. Stud.*, 2019, vol. 7, no. 3, pp. 806–809.
75. Taleie N., Hamidoghli Y., Rabiei B., Hamidoghli S. Effects of plant density and transplanting date on herbage, stevioside, phenol and flavonoid yield of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Int. J. Agric. Crop Sci.*, 2012, vol. 4, no. 6, pp. 298–302.
76. Trukhachev V.I., Starodubtseva G.P., Krivenko A.A., Zhabina V.I. Agrobiological features of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Hemsey of the variety Ramonskaya slastena in the Stavropol region. *Usp. Sovrem. Estestvozn.*, 2006, no. 4, pp. 99–100. (In Russian)
77. Anishin S.L. The effect of the root-bed size in stevia on its dry leaf yield in the western forest-steppe of Ukraine. In: *Vvedenie v kul'turu stevii – istochnika nizkokaloriinogo zamenitelya sakhara* [Introduction to the Cultivation of Stevia as a Low-Calorie Sugar Substitute]. Kyiv, VNIS, 1990, pp. 63–66. (In Russian)
78. Parris C.A., Shock C.C., Qian M. Soil water tension irrigation criteria affects *Stevia rebaudiana* leaf yield and leaf steviol glycoside composition. *HortScience*, 2017, vol. 52, no. 1, pp. 154–161. doi: 10.21273/HORTSCI11352-16.
79. Hajjhashemi S., Geuns J.M.C. Gene transcription and steviol glycoside accumulation in *Stevia rebaudiana* under polyethylene glycol-induced drought stress in greenhouse cultivation. *FEBS Open Bio*, 2016, vol. 6, no. 9, pp. 937–944. doi: 10.1002/2211-5463.12099.
80. Midmore D.J., Rank A.H., Walsh K.B., Reyes R., Kafle G.G., Hopkins K.C. *Further Development of the Stevia Natural Sweetener Industry*. Canberra, ACT, Rural Ind. Res. Dev. Corp., 2012. xvi, 107 p.
81. Shock C.C. Experimental cultivation of Rebaudi's stevia in California. *Agronomy Progress Report*. Davis, Univ. of Calif., 1982, no. 122. 8 p.
82. Kafle G.G., Midmore D.J., Gautam R. Effect of nutrient omission and pH on the biomass and concentration and content of steviol glycosides in stevia (*Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni) under hydroponic conditions. *J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants*, 2017, vol. 7, pp. 136–142. doi: 10.1016/j.jarmap.2017.08.001.
83. Fallah F., Nokhasi F., Ghaheri M., Kahrizi D., Beheshti Ale Agha A., Ghorbani T., Kazemi E., Ansarypour Z. Effect of salinity on gene expression, morphological and biochemical characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertoni under *in vitro* conditions. *Cell. Mol. Biol.*, 2017, vol. 63, no. 7, pp. 102–106. doi: 10.14715/cmb/2017.63.7.17.
84. Debnath M., Ashwath N., Hill C.B., Callahan D.L., Dias D.A., Jayasinghe N.S., Midmore D.J., Roessner U. Comparative metabolic and ionic profiling of two cultivars of *Stevia rebaudiana* Bert. (Bertoni) grown under salinity stress. *Plant Physiol. Biochem.*, 2018, vol. 129, pp. 56–70. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.05.001.
85. Sitnichuk I.Y., Strizheva E.N., Efremov A.A., Pervyshina G.G. Developing an effective method to isolate the sum of diterpene glycosides from *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Khim. Rastit. Syr'ya*, 2002, no. 3, pp. 73–75. (In Russian)
86. Ksenz L.I., Sichkar L.A., Korchak V.V. The effect of fertilizers on the productivity of stevia. In: *Vvedenie v kul'turu stevii – istochnika nizkokaloriinogo zamenitelya sakhara* [Introduction to the Cultivation of Stevia as a Low-Calorie Sugar Substitute]. Kyiv, VNIS, 1990, pp. 58–62. (In Russian)
87. Kuznetsova I.V. Studies of organic technology efficiency for stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) cultivation. *Izv. Gorsk. Gos. Agrar. Univ.*, 2015, no. 3, pp. 15–20. (In Russian)
88. Maniruzzaman M., Chowdhury M.A.H., Mohiuddin K.M., Chowdhury T. Nitrogen requirement and critical N content of stevia grown in two contrasting soils of Bangladesh. *Res. Agric., Livest. Fish.*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 87–97. doi: 10.3329/ralf.v3i1.27862.

89. Barbet-Massin C., Giuliano S., Alletto L., Daydé J., Berger M. Nitrogen limitation alters biomass production but enhances steviol glycoside concentration in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *PLoS One*, 2015, vol. 10, no. 7, art. e0133067, pp. 1–16. doi: 10.1371/journal.pone.0133067.
90. Karimi M., Moradi K. The response of *Stevia (Stevia rebaudiana* Bertoni) to nitrogen supply under greenhouse condition. *J. Plant Nutr.*, 2018, vol. 41, no. 13, pp. 1695–1704. doi: 10.1080/01904167.2018.1459692.
91. Sun Y., Yang Y., Hou M., Huang X., Zhang T., Huang S., Yuan H. Optimized nitrogen topdressing strategies enhance steviol glycoside productivity in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) plants. *J. Soil Sci. Plant Nutr.*, 2020, vol. 20, no. 3, pp. 1133–1143. doi: 10.1007/s42729-020-00199-w.
92. Zaman M.M., Chowdhury T., Nahar K., Chowdhury M.A.H. Effect of cow dung as organic manure on the growth, leaf biomass yield of *Stevia rebaudiana* and post harvest soil fertility. *J. Bangladesh Agric. Univ.*, 2017, vol. 15, no. 2, pp. 206–211. doi: 10.3329/jbau.v15i2.35064.
93. Umesha K., Smitha G.R., Sreeramu B.S., Waman A.A. Organic manures and biofertilizers effectively improve yield and quality of stevia (*Stevia rebaudiana*). *J. Appl. Hortic.*, 2011, vol. 13, no. 2, pp. 157–162. doi: 10.37855/jah.2011.v13i02.36.
94. Díaz-Gutiérrez C., Hurtado A., Ortíz A., Poschenrieder C., Arroyave C., Peláez C. Increase in steviol glycosides production from *Stevia rebaudiana* Bertoni under organo-mineral fertilization. *Ind. Crops Prod.*, 2020, vol. 147, art. 112220. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112220.
95. Hopkins K.C., Midmore D.J. Assessment of herbicides for use on the sweet herb, *Stevia rebaudiana* in the tropics. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.*, 2015, vol. 90, no. 5, pp. 530–536. doi: 10.1080/14620316.2015.11668710.
96. Harrington K.C., Southward R.C., Kitchen K.L., He X.Z. Investigation of herbicides tolerated by *Stevia rebaudiana* crops. *N. Z. J. Crop Hortic. Sci.*, 2011, vol. 39, no. 1, pp. 21–33. doi: 10.1080/01140671.2010.520165.
97. Zachokostas P. Effects of chemical weed management on the quantitative and qualitative characteristics of *Stevia rebaudiana* Bertoni, under Mediterranean conditions (Karditsa, Thessaly, Greece). *Stevia: Growth in Knowledge and Taste. Proc. 8th Stevia Symp. 2015 of European Society of Stevia (EUSTAS)*. Ceunen S., Geuns J.M.C. (Eds.). Bonn, 2015, pp. 5–12.
98. Bazazo K.G.I., Ibrahim A.S.M., Salem F.A. Insect pests of sugar honey leaf, *Stevia rebaudiana* Bertoni and associated natural enemies in Egypt. *J. Plant Prot. Pathol.*, 2012, vol. 3, no. 10, pp. 1059–1066. doi: 10.21608/jppp.2012.84394.
99. Nakonechnaya I.V., Shcherbakov N.A., Kosheleva O.V., Kostyukov V.V., Gunasheva Z.M. Control of lepidopteran pests of stevia without insecticides. *Zashch. Karantin Rast.*, 2015, no. 7, pp. 50–51. (In Russian)
100. Arturo M.C., Torres González C., Peña E.J., Díaz J.E. Microorganismos patógenos de *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Bioagro*, 2009, vol. 21, no. 3, pp. 173–178. (In Spanish)

Для цитирования: Синявина Н.Г., Кочетов А.А., Егорова К.В. Стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni): биологические особенности и факторы, влияющие на рост растений и накопление сладких гликозидов // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. – 2022. – Т. 164, кн. 1. – С. 46–75. – doi: 10.26907/2542-064X.2022.1.46-75.

For citation: Sinyavina N.G., Kochetov A.A., Egorova K.V. *Stevia (Stevia rebaudiana* Bertoni): Biological properties and factors affecting plant growth and sweet glycosides accumulation. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2022, vol. 164, no. 1, pp. 46–75. doi: 10.26907/2542-064X.2022.1.46-75. (In Russian)