

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-316-328>

Поступила 15.02.2026

Поступила после рецензирования 14.06.2026

Принята в печать 17.06.2026

© Пухальский Я. В., Лоскутов С. И., Воробьев Н. И., Питти Х. К., Глушаков Р. И., Ситнов В. Ю., 2026

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Открытый доступ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭКСТРАКТА ЗООГУМУСА НА БИОХИМИЮ И ВЕГЕТАТИВНЫЙ РОСТ СТЕВИИ МЕДОВОЙ (*STEVIA REBAUDIANA*)

Пухальский Я. В.¹, Лоскутов С. И.¹, Воробьев Н. И.², Питти Х. К.³, Глушаков Р. И.^{4,5}, Ситнов В. Ю.¹¹Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок, Санкт-Петербург, Россия²Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия³Институт сельскохозяйственных инноваций Панама, Клейтон, Панама⁴Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия⁵Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

Stevia rebaudiana,
зоогумус,
Hermetia illucens,
аминокислоты,
жирные кислоты,
элементный профиль,
хлорофилл, нейросеть

Одним из положений доктрины продовольственной безопасности России регламентируется создание устойчивых и эффективных технологий экологического выращивания растений, продуцирующих сладкие вещества как природные сахарозаменители. Во многом это обусловлено высокой распространенностью болезней, ассоциированных с избыточным потреблением рафинированных углеводов. В связи с этим требуется системная модификация образа жизни и рациона питания людей из группы высокого риска. Среди растений-сахарозаменителей выделяют стевию медовую (*Stevia rebaudiana* Bertoni). В настоящее время созданы районированные сорта, предназначенные для возделывания стевии в отдельных климатических регионах России. Однако при выращивании культуры в открытом грунте аграрии зачастую сталкиваются с проблемой слабой всхожести исходного семенного материала, которая для большинства культивируемых генотипов не превышает 15–25 %. Перспективной альтернативой данному подходу является выращивание стевии на искусственных нейтральных субстратах, в закрытом грунте с использованием метода интенсивной светокультуры, при минимизации или полном отказе от внесения минеральных удобрений. На сегодняшний день практически отсутствуют технологические решения, адаптированные для органического выращивания данной культуры с целью максимизации скорости ее роста и оптимизации конечных морфологических и биохимических показателей. Поэтому целью данного исследования являлось проведение сравнительной оценки влияния разных удобрительных методик на урожайность и обмен веществ в зеленой биомассе листьев растений. В качестве органического варианта предложен способ выращивания растений в защищенном грунте с применением нового типа органического удобрения в виде жидких экстрактов, полученных из зоогумуса насекомого черной львинки (*Hermetia illucens*). Срок вегетации составил 60 суток. Экспериментальный дизайн был рандомизирован десятью повторностями на каждый вариант. Полученные при сборе и анализе зеленой биомассы экспериментальные данные, помимо традиционных методов статистической обработки, были проанализированы с помощью специализированной прогностической нейросети, разработанной авторами. Нейросеть позволяет рассчитывать индексы когнитивной значимости урожая (Cognitive Salience Index), которые используются для количественной оценки интенсивности массонакопительных и биохимических процессов в растениях при определении оптимального режима их питания. Расчеты производились на основе сопоставления изменений содержания компонентов в конечном профиле аминокислот, жирных кислот и пуле эссенциальных элементов, с вариабельностью накопления общего хлорофилла и биометрическими характеристиками побегов. В удобрительную схему опыта также был заложен вариант чистого контроля, предусматривающий выращивание растений на фильтрованной воде. По итогу по всем полученным показателям здесь были зафиксированы минимальные значения в росте и развитии. Разница в наборе веса, высоты, метаболизме и аккумуляции биогенных веществ между вариантами растений, выращенных на минеральной и органической основе, была незначительна, что доказывает перспективу использования последних в качестве экологической альтернативы. При этом, уровень консолидации питательных веществ в биомассе растений, выращенных с применением зоогумуса *H. illucens*, превышал аналогичный показатель для минерального удобрения по индексу CSIfract.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема FGUS 2024-0010).

Received 15.02.2026

Accepted in revised 14.06.2026

Accepted for publication 17.06.2026

© Puhalsky J. V., Loskutov S. I., Vorobyov N. I., Pitti J. C., Glushakov R. I., Sitnov V. Yu., 2026

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF ZOOHUMUS EXTRACT ON BIOCHEMISTRY AND VEGETATIVE GROWTH OF *STEVIA REBAUDIANA*

Jan V. Puhalsky¹, Svyatoslav I. Loskutov¹, Nikolay I. Vorobyov², J. Caballero Pitti³, Ruslan I. Glushakov^{4,5}, Veniamin Yu. Sitnov¹¹All-Russian Research Institute of Food Additives, Saint Petersburg, Russia²All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia³The Institute of Agricultural Innovation of Panama (IDIAP), Clayton, Panama⁴S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia⁵Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Пухальский, Я. В., Лоскутов, С. И., Воробьев, Н. И., Питти Х. К., Глушаков, Р. И., Ситнов В. Ю. (2026). Оценка влияния экстракта зоогумуса на биохимию и вегетативный рост стевии медовой (*Stevia rebaudiana*). Пищевые системы, 9(2), 316–328. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-316-328>

FOR CITATION: Puhalsky, J. V., Loskutov, S. I., Vorobyov, N. I., Pitti, J. C., Glushakov, R. I., Sitnov V. Yu. (2026). Evaluation of the influence of zoohumus extract on biochemistry and vegetative growth of *Stevia rebaudiana*. Food Systems, 9(2), 316–328. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2026-9-2-316-328>

KEYWORDS:

Stevia rebaudiana,
zoohumus, *Hermetia
illucens*, amino acids,
fatty acids, elemental
profile, chlorophyll,
neural network

ABSTRACT

One of the provisions of Russia's food security doctrine regulates the development of sustainable and effective technologies for the organic cultivation of plants that produce sweet substances as natural sugar substitutes. This is largely due to the high prevalence of diseases associated with excessive consumption of refined carbohydrates. Therefore, systematic modification of the lifestyle and diet of high-risk individuals is required. *Stevia rebaudiana* Bertoni stands out among the plants used as sugar substitutes. Currently, zoned varieties have been developed for cultivation in specific climatic regions of Russia. However, when growing the crop outdoors, farmers often face the problem of poor germination of the original seed material, which for most cultivated genotypes does not exceed 15–25%. A promising alternative to this approach is growing stevia on artificial neutral substrates, indoors using intensive photoculture, with minimal or no application of mineral fertilizers. Currently, there are virtually no technological solutions adapted for organic cultivation of this crop that maximize its growth rate and optimize its final morphological and biochemical parameters. Therefore, the aim of this study was to conduct a comparative assessment of the impact of different fertilization methods on yield and metabolism in the green biomass of plant leaves. As an organic option, a method of growing plants in protected soil using a new type of organic fertilizer in the form of liquid extracts obtained from the zoohumus of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) was proposed. The vegetation period was 60 days. The experimental design was randomized, with ten replicates for each treatment. The experimental data obtained from collecting and analyzing the green biomass, in addition to traditional statistical processing methods, were analyzed using a specialized predictive neural network developed by the authors. The neural network allows for the calculation of cognitive salience indices (Cognitive Salience Index), which are used to quantitatively assess the intensity of mass accumulation and biochemical processes in plants when determining their optimal nutritional regimen. Calculations were based on a comparison of changes in the component content of the final amino acid, fatty acid, and essential element profiles, with variability in total chlorophyll accumulation and shoot biometric characteristics. The fertilization regimen also included a pure control variant, involving plant cultivation in filtered water. As a result, for all the indicators obtained, minimal values in growth and development were recorded here. Differences in weight gain, height, metabolism, and nutrient accumulation between the mineral- and organic-grown plants were insignificant, demonstrating the potential for using the latter as an environmentally friendly alternative. Furthermore, the level of nutrient consolidation in the biomass of plants grown using *H. illucens* zoohumus exceeded that of the mineral fertilizer, according to the CSIfract index.

FUNDING: The work was carried out within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (FGUS 2024-0010).

1. Введение

Стевия или двулистник сладкий (*Stevia rebaudiana* Bertoni) — это многолетний, вечнозеленый, тепло- и светолюбивый полукустарник, произрастающий в субтропической зоне. В природе растение является эндемиком, достигающим высоты 100–120 см [1]. Ареал растения охватывает верхнее течение реки Параны в регионе Амамабай (Парагвай). Также оно встречается в близлежащих к Парагваю регионах Бразилии и Аргентины. Стевия относится к семейству астровые (*Asteraceae*). Ее первоначальное название было *Eupatorium rebaudianum*, но в 1905 году она была переименована [2].

За последние годы интерес к стевии со стороны научного сообщества заметно возрос. Связано это прежде всего с тем, что в ее листьях содержатся сладкие диетические diterпеновые гликозиды (E960), близкие по вкусовым качествам к сахарозе и превосходящие ее по сладости в 300 и более раз [1,3–5]. Всего в *S. rebaudiana* их обнаружено более 60, но экономически значимыми являются лишь несколько (стевиол, стевиозид, ребаудиозиды А и В и др.). Эти соединения термостабильны и хорошо переносят низкие значения кислотности среды [2,6]. Их содержание в сухом веществе листьев в среднем варьирует от 4 до 17 % [7,8], и в первую очередь зависит от сортовых особенностей растений и агротехнических приемов возделывания. Сухие листья стевии слаще сахарозы примерно в 10–15 раз, а их гликемический индекс равен нулю [9]. Благодаря природному происхождению и низкой калорийности это растение рассматривается как перспективная альтернатива тростниковому и свекловичному сахару [10,11], а также искусственным подсластителям, таким как аспартам и сахарин [12]. Один грамм листьев стевии эквивалентен 25 г сахара [13]. Особое значение это имеет для людей с избыточной массой тела и сахарным диабетом II типа [14]: даже современные лекарственные препараты не способны полностью компенсировать влияние несбалансированного питания на уровень глюкозы крови и набор массы тела [15,16], а также на развитие ассоциированных заболеваний [17]. Проведенные клинические исследования продемонстрировали, что употребление стевии значительно снижало постпрандиальный уровень содержания глюкозы и инсулина в крови после приема пищи, богатой сахарозой и аспартамом [18]. У респондентов клинической группы, потреблявших стевию, чувство сытости возникало значительно быстрее. Стевия признана безопасным ингредиентом в детском питании и в период беременности.

Стевиолгликозиды не вызывают побочных эффектов при употреблении в умеренных количествах [19,20]. На 69-м заседании Объединенного экспертного комитета FAO/WHO по пищевым добавкам (JECFA), проведенном в 2009 году, была установлена их допустимая суточная доза (в пересчете на стевиол) в 0–4 мг/кг массы тела, а стевии был присвоен статус NOAEL (уровень, не вызывающий наблюдаемых побочных эффектов) [21]. В 2010 году Европейское агентство по безопасности пищевых продуктов (EFSA) также провело оценку безопасности стевиолгликозидов и опубликовало экспертное заклю-

чение, подтверждающее безопасность их применения в пищевой промышленности и бытовом использовании. На сегодняшний день ни одно исследование *in vitro* не выявило кластогенного, тератогенного или канцерогенного эффекта стевии при ее применении в качестве подсластителя в пределах допустимых доз [22–24]. Однако генотоксичные тесты *in vivo* и долгосрочные эффекты влияния стевиозидов на хромосомы человека еще предстоит изучить.

27 февраля 2024 года вступили в силу изменения в ТР ТС 029/2012¹, согласно которым из перечня разрешенных пищевых добавок исключены 19 позиций, включая стевию в форме порошка листьев и сиропа на их основе. Таким образом, в регламенте сохранено разрешение на использование в пищевой промышленности только высокоочищенных стевиолгликозидов. Применение сухих листьев стевии не запрещено, однако не допускается их использование в качестве комплексной пищевой добавки.

Помимо пищевой ценности, экстракты из листьев обладают противовоспалительным [25,26], антиоксидантным [27–31], противовирусным [32] и ранозаживляющим действием [33–36]. В литературе отмечено антимикробное действие водно-спиртовых экстрактов в отношении таких патогенных организмов, как *Enterococcus faecium*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* и *Klebsiella pneumoniae* [37–40]. Многие медицинские применения лекарственного сырья, полученного из листьев *S. rebaudiana*, показаны на Рисунке 1 [41].



¹ Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств». Принят Решением Коллегии Евразийской экон. комиссии от 20 июля 2012 г. № 58. (ред. от 29 августа 2023 года). Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/902359401>. Дата доступа 25.01.2026

Листья стевии также обладают нематоцидной активностью против наиболее известного представителя *Meloidogone incognita* [42]. Благодаря особенностям биосинтеза стевииола в стевии, все его производные имеют сходство химической структуры с фитогормонами гиббереллинами [43]. На примере пшеницы показана рост-стимулирующая и адаптогенная активность стевииозида для повышения устойчивости растений к низким температурам [44]. Некорневая обработка экстрактом из листьев стевии также достоверно повышала урожайность зеленых овощей, выращенных в интенсивной световой культуре защищенного грунта [45]. Кроме того, листья растения содержат большое количество энергии, которая в перспективе может быть использована при производстве электроэнергии [46–48].

Во всем мире сейчас отведено около 32 000 га пашни под возделывание стевии. Основными коммерческими производителями стевии и продуктов ее переработки прежде всего являются страны Юго-Восточной Азии, Китай и Япония, где до 50% сахара заменено на стевию [49,50]. В 2018 году, по данным Китайской торговой палаты по импорту и экспорту лекарственных средств и товаров для здоровья, экспорт гликозидов стевии составил 5700 тонн (0,26 миллиарда долларов). Япония при этом была первой страной, в которой выращивание и переработку стевии поставили на промышленный уровень. Растение также успешно выращивается как однолетник в Европе, США и Канаде [1,51]. Для России культура является относительно новой. Изначально в страну ее привез Н. И. Вавилов в 30-е годы из своих экспедиций по Латинской Америке. Однако семена не проросли, всхожесть оказалась нулевой. Активное же изучение культуры началось с 80-х годов XX века в связи с поиском природных сахарозаменителей в СССР. Работы по акклиматизации стевии возглавил ВНИИ сахарной свеклы в Киеве. Также работы проводились в Никитском ботаническом саду в Крыму. После распада СССР выращивание стевии в южных регионах России было продолжено во Всероссийском НИИ сахара и свеклы им. А. Л. Мазлумова. В 1995 году стевия как новая техническая культура была впервые включена в Государственный реестр селекционных достижений РФ. Сейчас предпринимаются попытки интродукции культуры в среднюю полосу страны. Однако из-за проблемы слабой устойчивости стевии к продолжительным заморозкам выращивание ее в областях Нечерноземья пока затруднено [49]. Решением данной проблемы может служить мировая практика расширения площадей выращивания растений за счет их индустриального возделывания в сооружениях защищенного грунта. При этом применяется технология беспочвенного культивирования растений на искусственных питательных средах, объединяемая под общим названием гидропоника. Среди ее разновидностей выделяют хемопонику и агрегатопонику, основанные на использовании инертных или слабо доступных для питания растений субстратов (верховой торф, кокосовое волокно, вермикулит, керамзит и перлит). Отказ от почвы позволяет осуществлять круглогодичный цикл выращивания растений. В условиях непрерывного возделывания культур в полевых условиях это, напротив, приводило бы к деградации (утомлению) почв, изменению их физико-химических свойств и состава микробных сообществ, определяющих состояние экосистем. Кроме того, повышался бы риск заражения биомассы патогенными микроорганизмами и микотоксинами. Кроме того, повышался бы риск заражения биомассы патогенными микроорганизмами и микотоксинами.

Управление режимом питания растений — важная агрономическая практика, которая может повлиять на качество формируемого урожая [52–54]. Так, для уменьшения количества использования синтетических удобрений и снижения себестоимости конечного продукта в качестве экологической альтернативы все чаще рекомендуют использовать органические добавки. Применение различных концентраций минеральных удобрений в первую очередь положительно влияет на морфологию и содержание вторичных метаболитов в листьях растений, но не стевииозидов. С последними ситуация обстоит сложнее: при оптимально подобранной дозе внесения минеральных удобрений абсолютная доля выхода стевииозидов на одно растение остается относительно стабильной, однако в пересчете на грамм сухого вещества их концентрации снижаются. Это свидетельствует о том, что эффективность выращивания стевии для получения стевииозидов может быть повышена при минимальном использовании минеральных удобрений за счет применения органических удобрений. Постепенное высвобождение доступных корням биогенных элементов из органических удобрений на ранних (виргинальных) этапах роста ювенильных растений может приводить к пищевому стрессу. Вероятно, это вызывает конкуренцию за поступление элементов питания в растение и приводит к увеличению образования стевииозида. У более зрелых (имматурных) куль-

тивиров наблюдается адаптация к минеральному фону питания, при которой эффективность использования элементов питания сохраняется или превышает контрольные значения. Потери биомассы при этом не наблюдается.

Считается, что большинство органических удобрений, применяемых в сельском хозяйстве при размножении культур, подходят и для промышленного выращивания стевии на полях [55]. По этому вопросу опубликовано множество исследований, связанных с повышением урожайности, усвоения питательных веществ и продуктивности стевии, в различных почвенно-климатических регионах мира. Преимущественно все они описывают использование традиционных гуматосодержащих удобрений в виде экстрактов, полученных из вермикомпоста, птичьего помета, навоза КРС или овец. Гумусовые кислоты, входящие в их состав, благодаря пролонгированному эффекту своего воздействия на агроэкосистемы способны оказывать как прямое, так и косвенное воздействие на физиологические и биохимические процессы, происходящие в растениях; в частности, увеличивать коэффициенты использования минеральных соединений в почвах, образуя с ними хелатные формы и повышая их доступность для растений. Как и в случае с почвенным органоминеральным земледелием открытого грунта, данные жидкие добавки могут использоваться и в гидропонике в качестве дополнительных биогенных элиситоров и иммуномодуляторов [56]. Помимо традиционного органического сырья выделяют новый вид жидкого органического удобрения в виде суспензии, полученной из зоогумуса [57] — сыпучего порошка, являющегося высушенным продуктом жизнедеятельности (экскрементов) личинок черной львинки (*Hermetia illucens* Linnaeus, 1758). Получают его в процессе переработки насекомыми отходов 3–4 класса опасности. По содержанию биогенных элементов зоогумус не уступает сухому птичьему помету [58]. Его близкий аналог — биогумус дождевых червей или вермикомпост. Проведенные исследования показывают, что сухой зоогумус *H. illucens* соответствует стандартам качества, установленным ГОСТ 33830-2016² и 53117-2008³ для органических удобрений на основе отходов животноводства [59]. Он также является почвенным кондиционером, улучшающим влагоудерживающую способность почв. Таким образом, благодаря высокой биологической и питательной ценности его можно рекомендовать как дешевую альтернативу минеральным соединениям.

Русскоязычных работ, посвященных изучению показателей роста, развития и метаболизма стевии, а также других технических и пищевых растений, выращиваемых в условиях защищенного грунта, пока недостаточно. Это касается, в частности, исследований различных удобрительных технологий, включая применение жидких добавок на основе зоогумуса. Для большинства маргинальных овощных культур использование зоогумуса описано преимущественно как компонент сухих почвогрунтов на основе торфа. В литературе он рассматривается главным образом при приготовлении субстратов, а не в виде жидких форм. Расширение знаний по вопросу его использования в гидропонике остается весьма актуальным.

Согласно фрактальной природе самоорганизации живой материи, любая растительная биосистема (растительный организм) характеризуется фиксированным соотношением размеров своих органов и фиксированным соотношением химических элементов в белках собственных клеточных структур, так как эти соотношения запрограммированы в растениях на генетическом уровне. Учитывая данные законы, авторами была создана в Excel-среде (язык VBA) нейронная сеть ChemN N.

Благодаря применению методов биотехнологии в ближайшие годы производство листьев стевии преодолет проблему спроса и предложения. Промышленное выращивание стевии и получение из нее некалорийных натуральных подсластителей для частичной замены ими сахарозы позволит снизить число больных сахарным диабетом, уменьшить зависимость от импорта сахара-сырца, сократить площади под сахароносными культурами на юге страны.

Целью настоящей работы было проведение нейросетевого анализа морфометрических данных растений стевии, выращенных в условиях агрегатопоники с использованием органических и минеральных удобрений. Дополнительно оценивалась связь полученных морфометрических показателей с аминокислотным и жирнокислотным составом, а также пулом эссенциальных элементов зеленой биомассы.

² ГОСТ 33830-2016 «Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия» — Москва: Стандартинформ, 2020. — 12 с.

³ ГОСТ 53117-2008 «Удобрения органические на основе отходов животноводства технические условия» — Москва: Стандартинформ, 2009. — 15 с.

2. Объекты и методы

Эксперимент проводили в закрытом гроубоксе размером 1,5×1,5×1,5 м в условиях полной светокультуры согласно методике вегетационного опыта. Семена стевии очень мелкие и быстро теряют свою всхожесть, хотя в естественных условиях она размножается именно семенами. Поэтому первоначальная рассада была получена из закупленных семян. При посеве для определения качества использовался метод отбора по парусности. Те семена, которые при сбрасывании с высоты 50 см начинали кружиться в воздухе, а не падать, отбраковывались. Отобранные семена были рассажены в пластиковую кассету на 60 ячеек, заполненную смесью торфа, агроперлита и кокосового волокна [60,61]. Через 10 суток появились первые проростки, листья которых имели яркий зеленый окрас и высоту 15 см. Всхожесть составила 50 %. Далее здоровая рассада была поделена на 3 равные части по 10 культиваров и пересажена в двухлитровые пластиковые сосуды с дренажными отверстиями (Рисунок 2). Пикировка производилась во второй половине дня, чтобы избежать стресса.

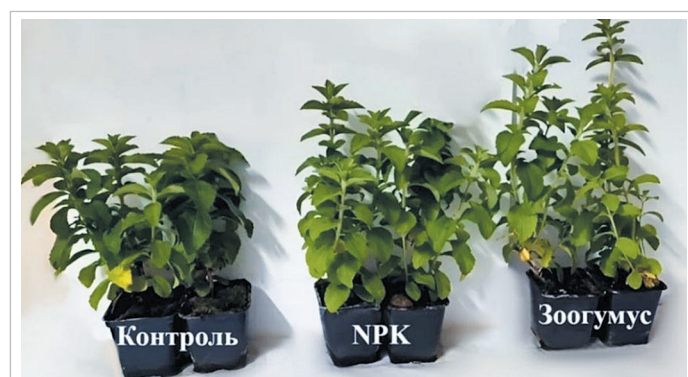


Рисунок 2. Вид стевии в вегетационном опыте с разным удобрительным фоном

Figure 2. Appearance of stevia in the vegetation experiment with different fertilization backgrounds

В условиях гидропоники стевия характеризуется лучшим ростом на субстратах с нейтральной или слабокислой средой [62]. При повышении pH до 8,0 у растений наблюдается хлороз. Поэтому при пикировке также был использован предварительно увлажненный кокосовый субстрат (pH = 5,5). Анализ субстрата не проводился. Примерные данные были взяты из другой работы [63] и приведены в Таблице 1.

Глубина посадки саженцев составила 10 см. Увлажнение субстрата проводилось путем его сквозного пролива разными питательными растворами, приготовленными на основе фильтрованной воды. Влажность субстрата на протяжении всего эксперимента поддерживали весовым способом, путем систематического прикорневого ручного полива сосудов.

Схема опыта была следующей: 1) контроль (фильтрованная вода): pH = 7,4, EC = 4,0 ppm; 2) комплексное минеральное удобрение (NPK): pH = 6,4, EC = 550–600 ppm; 3) 1,0% щелочной раствор зоогумуса, полученный из сухого концентрата (ООО «Экобелок», Россия) с доведенными значениями pH до нейтральных показателей: pH = 7,3, EC = 650–700 ppm. На каждый вариант приходилось по 10 сосудов (повторности).

Суспензию зоогумуса перемешивали с принудительной аэрацией в течение 8 часов с помощью верхнеприводной мешалки MICROSTAR 7.5 control (IKA, Германия) для улучшения контакта частиц с жидкой средой и в дальнейшем настаивали в течение 16 часов при комнатной температуре. Выбор временного режима экстракции был обусловлен оптимальным извлечением биогенных элементов из исходного сырья [64] в суспензию, выходом гумусовых кислот, а также снижением риска развития анаэробных процессов с брожением и появлением неприятного запаха. Получившуюся суспензию отделяли от осадка путем фильтрации.

Выбор концентраций зоогумуса для разведения и внесения в субстрат был основан на наших ранних экспериментах, а также на рекомендациях других авторов [58,64,65]. Физико-химические показатели зоогумуса приведены в Таблице 2.

Удобрения вносились однократно при посадке [66–69]. Концентрация 1,0% (мас/об) зоогумуса соответствует 10000 мг/л суммарного сухого вещества. Значение EC = 650–700 ppm (среднее ≈ 675 мг/л) отражало лишь ионную (растворимую) фракцию препарата, тогда как остальные (~ 9325 мг/л) составляли коллоидные и взвешенные органические частицы. Таким образом, концентрация растворимых

Таблица 1. Физико-химическая характеристика кокосового субстрата, используемого для выращивания стевии в контролируемой среде [63]

Table 1. Physico-chemical characteristics of the coconut substrate used for growing stevia in the controlled environment [63]

Физико-химические параметры	Значение
Плотность, кг/м ³	115,0
Водоудерживающая способность, %	64,0
Процент аэрации, %	30,0
Электропроводность, мСм/см	< 0,8
pH _{KCl}	5,50
Степень минерализации волокна, ppm	400,0
NO ₃ , г/кг сухого вещества	2,65
NH ₄ , г/кг сухого вещества	1,72
P, г/кг сухого вещества	1,72
K, г/кг сухого вещества	80,40
Ca, г/кг сухого вещества	16,66
Mg, г/кг сухого вещества	5,73
S, г/кг сухого вещества	1,10
Na, г/кг сухого вещества	19,81
Cl, г/кг сухого вещества	77,50

Таблица 2. Физико-химические показатели сухого порошка зоогумуса (Протокол испытаний ФГБНУ ФИЦ Почвенный институт им. В. В. Докучаева № 215 — П от 03 июня 2022 г)

Table 2. Physico-chemical indicators of the zoohumus dry powder (Test report of the FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute No. 215 — П of June 03, 2022)

Показатель	Значение
Обменный аммоний (массовая доля аммонийного азота), млн ⁻¹	10,0
Фосфор (подвижная форма), мг/кг	820,0
Массовая доля органического вещества, %	62,8
pH водная вытяжка, ед	7,57
Калий (валовая форма), млн ⁻¹	10500,0
Калий (подвижная форма), млн ⁻¹	1989,3
Кальций (валовая форма), млн ⁻¹	2550,0
Магний (валовая форма), млн ⁻¹	2600,0
Натрий (валовая форма), млн ⁻¹	37,0
Массовая доля марганца (валовая форма), млн ⁻¹	218,9
Массовая доля меди (валовая форма), млн ⁻¹	10,5
Массовая доля кадмия (валовая форма), млн ⁻¹	< 0,1 (0,043)
Массовая доля цинка (валовая форма), млн ⁻¹	179,2
Массовая доля железа (валовая форма), млн ⁻¹	340,0
Массовая доля никеля (валовая форма), млн ⁻¹	2,5
Массовая доля кобальта (валовая форма), млн ⁻¹	0,9
Массовая доля алюминия (валовая форма), млн ⁻¹	190,0
Массовая доля хрома (валовая форма), млн ⁻¹	0,6
Массовая доля свинца (валовая форма), млн ⁻¹	1,2

минеральных солей в 1%-м зоогумусе составляла ~ 675 мг/л, а концентрация органического вещества — ~ 9325 мг/л. При разовом поливе (0,40–0,45 л/раст.) на каждое растение приходилось: минеральной (ионной) фракции — 270–304 мг/раст.; органического сухого вещества — 3730–4196 мг/раст.

В качестве минерального удобрения использовали нитроаммофоску (16:16:16, мас.%) в концентрации 400 мг/л, при которой соотношение N: P₂O₅: K₂O достигает 64:64:64 мг/л. Суммарная концентрация растворимых солей при этом составляла ~ 575 мг/л (среднее EC ≈ 577 ppm, pH 6,4), что соответствует заявленному диапазону EC = 550–600 ppm. При однократном поливе до насыщения субстрата в двухлитровом сосуде (расчетный объем одного пролива ~ 0,40–0,45 л на сосуд с учетом дренажа) суммарное поступление действующих веществ на одно растение составляло: N — 25,6–28,8 мг/растение, P₂O₅ — 25,6–28,8 мг/раст., K₂O — 25,6–28,8 мг/раст. (итого ~ 77–87 мг NPK/растение); осмотическая нагрузка на корневую систему составила 230–259 мг растворимых солей/растение. Показано, что стевия отзывчива на внесение различных доз азота [70–75], фосфора [76–77]

и калия [78–80]. Значения их внесения варьируют в разных статьях. Для открытого грунта рекомендуют такие дозы: 300:180:160 кг/га NPK [81] и 300:100:240 кг/га [82]. Ключевую роль здесь играет внесение азота. Однако это актуально, если речь идет про многократный срез урожая. В нашем случае для тепличных условий рекомендуют брать норму азота 40 кг/га [83]. Исходя из анализа источников литературы, мы выбрали среднюю дозу для грунта $N_{64}P_{64}K_{64}$, как это было ранее установлено в Институте биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН [84].

Сопоставление осмотических нагрузок NPK (230–259 мг/раст.) и зоогумуса (270–304 мг/раст.) свидетельствует об их близкой ионной активности (разница $\leq 17\%$), что исключает осмотическую нагрузку как фактор, объясняющий различия в урожайности.

Оптимальными условиями для интенсивного роста стевии считается фотопериод менее 13 часов (в нашем случае 14 часов), температура воздуха 17–26 °C (в нашем случае 25 °C), влажность воздуха 60% [85] и уровень освещенности 80–120 Вт/м² ФАР [86]. В опыте для освещения использовали светодиодную лампу производства LedForPlant на 400 Вт, дающую с 1,0 метра подвеса засветку на рабочую зону в 29 650 Лк, 94 Вт/м² или 444,7 мкмоль/м² с ФАР по формуле пересчета для белого света [87]. Срок вегетации после пикировки составил 60 суток. Данный период роста был выбран как средний исходя из другой работы по выращиванию стевии в тепличных условиях также на кокосовом субстрате с добавкой биогумуса [88].

По окончании опыта в зеленых листьях измеряли содержание общего хлорофилла с использованием портативного оптического датчика SPAD 502 Plus (Minolta Camera Co, Ltd, Япония), который по светотрагательным характеристикам растений вычисляет безразмерный NDVI. Показания данного прибора более точно отражают содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений по сравнению с содержанием экстрагируемого хлорофилла, выраженным в пересчете на массу или площадь листа [89–92]. Он считается более удобным в использовании, чем его недорогой аналог atLEAF [93]. Показания снимались с трех верхних полностью развитых листьев каждого растения. Для каждого варианта обработки использовались 30 полностью развитых листьев. Измеритель SPAD сохранял и автоматически усреднял показания, чтобы получить одно значение для каждого растения. Затем растения извлекали из сосудов, измеряли длину и вес побегов.

Листья отделяли от побега и сушили в термостате при температуре 70–80 °C в течение 8 часов [94]. Высушенные листья измельчали до состояния порошка и определяли в нем содержание производных карбоновых кислот с помощью газовой хроматографии с масс-спектрометрией (ГХ–МС) на приборе Agilent 7890B (Agilent Technologies Canada, Inc.) [95–97], а также аккумуляцию эссенциальных элементов с помощью атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (АЭС–ИСП) ICPE-9000 (Shimadzu, Япония) [98–100].

В условиях неполноты теоретических и практических знаний в отношении корректного вычислительного алгоритма все вычисления в нейросети ChemNN происходили в запрограммированном сервисе обучения Learning с циклическим реверсивным варьированием CSI-процедуры. Нейросеть ChemNN выполняла статистическую обработку цифровых данных с использованием последовательных процедур регрессионного, корреляционного, кластерного и дискриминантного анализов. Это позволяло беспрепятственно в промежутках между повторными циклами вычисления индексов CSIfract менять алгоритм работы заданной программы и находить корректный

вариант расчета этого алгоритма. Этапы нейросетевых вычислений данной нейросети детально описаны нами ранее [101] на примере анализа агротехнических условий выращивания бархатцев в программе «Нейроцвет Н1» (свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 20246669033 от 13.08.2024⁴).

Прочую статистическую обработку полученных данных выполняли с помощью прикладной системы Statistica v 10.0 (StatSoft Inc., США) и языка программирования Python 3.10. Использовали дисперсионный ANOVA-анализ, кластерный анализ и анализ главных компонент. Доверительную вероятность устанавливали на уровне 95% ($p \leq 0,05$). Для попарного сравнения средних значений применяли критерий Тьюки (HSD-тест). В таблицах данные представлены в виде $M \pm SD$ (среднее $\pm$ стандартное отклонение); значения, обозначенные различными надстрочными латинскими буквами, статистически достоверно отличаются друг от друга ($p \leq 0,05$) согласно выбранному критерию.

3. Результаты и обсуждения

Метод парусности для определения качества семян показал, что только 60% семян были пригодны для посева, всхожесть же посаженных составила 50%.

Как и ожидалось, наименьшие показатели роста и развития стевии были зафиксированы на контроле. Добавление минеральных удобрений позволило увеличить урожай на 54%, а зоогумуса — на 66% (Рисунок 3). При этом прибавка по высоте была отмечена лишь на фоне органики и составила 29% по сравнению с контролем. Учитывая соотношение веса побега к его высоте, наибольшее значение получено на варианте с $N_{64}P_{64}K_{64}$ — 1,3. Растения в этом варианте были такие же приземистые, как на контроле, но более кустистые. На фоне зоогумуса данный показатель незначительно уступал минеральному удобрению и равнялся 1,1. Однако усвоение элементов питания, в частности азота, по всей видимости, происходило быстрее за счет наличия в составе зоогумуса гормоноподобных веществ. Таким образом, растение переключало программу своего развития с наращивания корневой системы для поиска источников пищи на более быстрый рост надземной зеленой биомассы.

Накопление биомассы отразилось и в синтезе общего хлорофилла. SPAD показал наибольшее значение индекса на варианте с зоогумусом (Рисунок 4). Основываясь на работе Chumthong с соавторами [102], также описывающей выращивание стевии в вегетационных сосудах, мы вывели примерный усредненный коэффициент пересчета значений в мг/г, в результате чего удалось приблизительно рассчитать количество экстрагируемого хлорофилла, выраженного на основе веса. Для контроля оно составило 7,06 мг/г, для минеральных удобрений — 7,94 мг/г, для зоогумуса — 8,45 мг/г.

При экстракции сухих листьев был зафиксирован выход 9 незаменимых и 8 заменимых аминокислот (Таблица 3). В среднем по вариантам отмечена высокая доля синтеза глутамина (15,1%). Далее шли пролин (10,8%), серин (9,3%) и изолейцин (8,9%). Глутамин как гомолог аспарагина наряду с аргинином участвует в усвоении и запасае азота, влияя тем самым на формирование C–N остова растения.

⁴ Лоскутов, С. И., Воробьев, Н. И., Пухальский, Я. В. Нейросетевая программа для экологической экспертизы условий развития цветочно-декоративных растений «Нейроцвет Н1» / Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 20246669033 от 13.08.2024. Заявка № 2024667596 от 22 июля 2024 ГАОУ ВО Ленинградской области ЛГУ им. А. С. Пушкина.

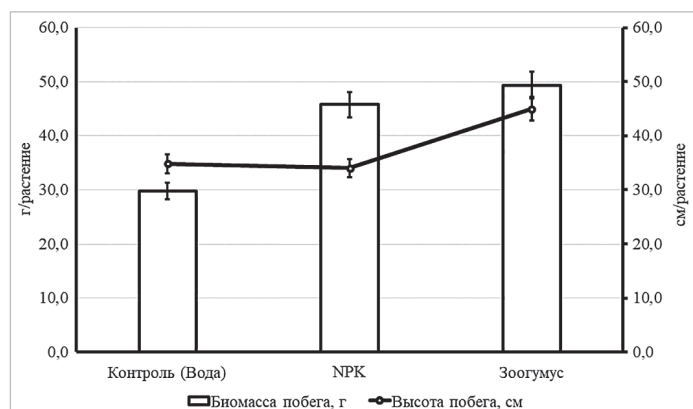


Рисунок 3. Морфометрические показатели развития стевии в вегетационном опыте с разным удобрительным фоном
Figure 3. Morphometric indicators of the stevia development in the vegetation experiment with different fertilization backgrounds

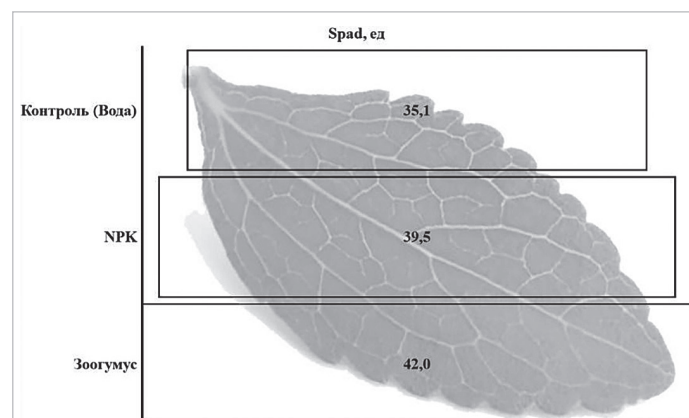


Рисунок 4. Содержание общего хлорофилла (единица SPAD) в листьях стевии
Figure 4. Total chlorophyll content (SPAD unit) in stevia leaves

Данный амид также является сигнальным нейромедиатором в иммунной системе растений [103,104]. В нормальных условиях он участвует в прорастании семян, ассимиляции неорганического азота [105] и архитектонике развития (ризогенезе) корневой системы для улучшения питания растений [106]. В условиях стресса глутамин отвечает за повышение устойчивости. Другой стресс-протекторной аминокислотой, в биосинтезе которой участвует глутамин, является пролин. Не удивительно, что на дендрограмме кластерного родства они расположены в одном гомогенном ряду (Рисунок 5).

Аккумуляция пролина направлена на поддержание в клетках водного гомеостаза и тургора [107]. Насыщение тканей водой помогает им оставаться гибкими и эластичными. Обе аминокислоты стимулируют синтез коллагенового белка в культурах человеческих дермальных фибробластов [108–110]. Поэтому увеличение их доступности в листьях стевии имеет решающее значение в процессе создания на их основе ранозаживляющих кремов. Серин участвует в синтезе липидов, а также является строительным блоком для синтеза других аминокислот. У растений существует три пути его биосинтеза [111]. Один из них, промежуточный фосфорилированный путь, связан с фотодыханием. Поэтому содержание серина в растениях строго регулируется. Что касается изолейцина, то данная аминокислота является предшественником активной молекулы фитогормона жасмоната, необходимого растениям для защиты от биотических и абиотических стрессов [112]. Повышение уровня его концентрации в тканях может означать увеличение продолжительности фаз вегетации культуры и синтеза стевииолигосахаридов [113,114]. В результате растение будет накапливать больше зеленой биомассы и сладких гликозидов. На примере мутанта *Arabidopsis* было показано, что дефицит изолейцина нарушает развитие корней и изменяет уровни транскрипции генов, участвующих в метаболизме аминокислот с разветвленной цепью и глюкозинолатов [115]. Изолейцин также является резервом для синтеза аланина [116], участвующего в многочисленных реакциях растений на стресс [117]. Подытожив все вышесказанное, можно заключить, что оба типа удобрений повышают адаптационный потенциал растений культуры за счет увеличения синтеза в ней данных аминокислот.

Для организма человека наибольший интерес представляет оценка накопления в биомассе растительной пищи незаменимых аминокислот. Добавление в субстрат органики способствовало большему суммарному их выходу, чем внесение NPK (Рисунок 6). Также это отмечено по индексу соотношения их с заменимыми формами.

Среди жирных кислот в листьях стевии удалось идентифицировать 7 компонентов (Таблица 3). В среднем по вариантам опыта

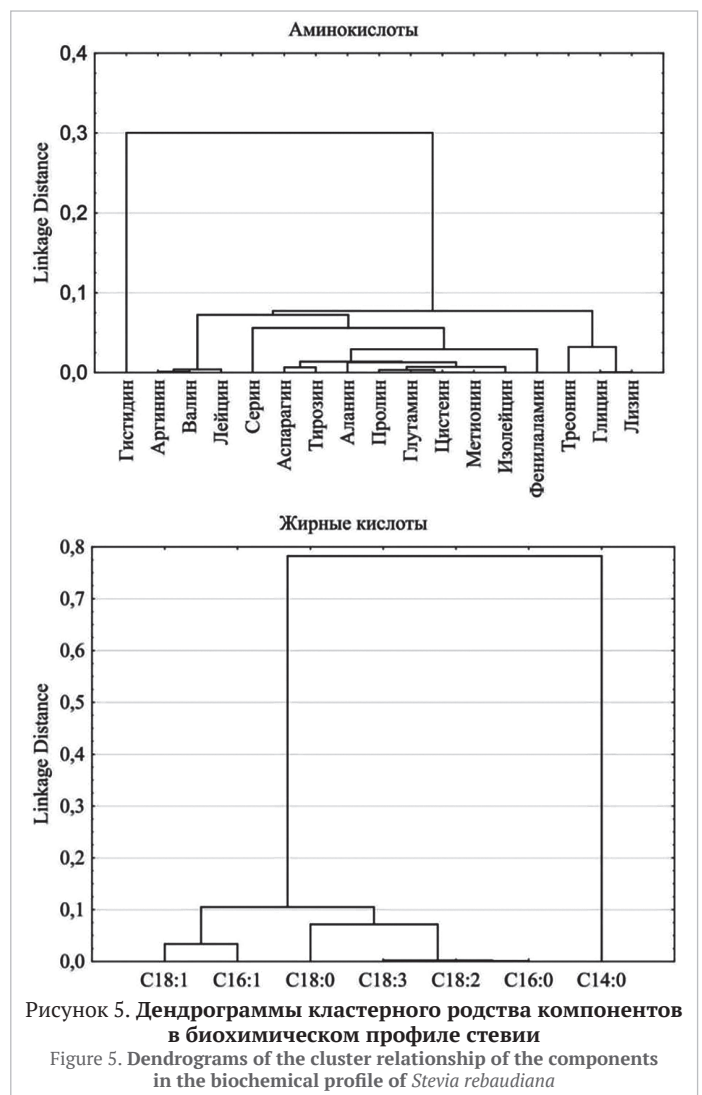


Рисунок 5. Дендрограммы кластерного родства компонентов в биохимическом профиле стевии

Figure 5. Dendrograms of the cluster relationship of the components in the biochemical profile of *Stevia rebaudiana*

Таблица 3. Биохимический профиль экстрактов из сухой зеленой биомассы стевии

Table 3. Biochemical profile of the extracts from dry green biomass of *Stevia rebaudiana*

Аминокислоты, г/100 г или %				Жирные кислоты, г/100 г			
Компонент	Контроль (Вода)	NPK	Зоогумус	Компонент	Контроль (Вода)	NPK	Зоогумус
Незаменимые (НАК)				Насыщенные (НЖК)			
Лизин	0,53 ± 0,03 ^b	0,23 ± 0,01 ^a	0,99 ± 0,06 ^c	Миримистиновая (C14:0)	0,88 ± 0,24 ^{ab}	0,63 ± 0,17 ^a	1,55 ± 0,42 ^b
Фенилаланин	0,51 ± 0,04 ^a	0,61 ± 0,05 ^a	1,03 ± 0,09 ^b	Пальмитиновая (C16:0)	27,51 ± 3,13 ^a	28,37 ± 3,22 ^a	28,61 ± 3,25 ^a
Треонин**	0,68 ± 0,06 ^b	0,10 ± 0,010 ^a	0,95 ± 0,09 ^c	Стеариновая (C18:0)	1,18 ± 0,28 ^a	2,55 ± 0,61 ^b	1,85 ± 0,44 ^{ab}
Лейцин**	0,63 ± 0,06 ^a	0,55 ± 0,05 ^a	1,31 ± 0,12 ^b				
Изолейцин**	0,64 ± 0,05 ^a	1,77 ± 0,15 ^b	1,96 ± 0,16 ^b				
Метионин	0,11 ± 0,02 ^a	1,26 ± 0,26 ^b	1,11 ± 0,23 ^b				
Цистеин**	0,01 ± 0,01 ^a	0,10 ± 0,01 ^b	0,09 ± 0,01 ^b				
Валин	0,67 ± 0,06 ^a	0,63 ± 0,06 ^a	1,01 ± 0,09 ^b				
Гистидин**	0,17 ± 0,02 ^a	0,98 ± 0,11 ^b	0,10 ± 0,01 ^a				
Заменимые (ЗАК)				Ненасыщенные (ННЖК)			
Пролин**	0,58 ± 0,03 ^a	2,67 ± 0,16 ^c	2,25 ± 0,13 ^b	Пальмитолеиновая (C16:1)	1,14 ± 0,24 ^a	2,33 ± 0,49 ^b	1,04 ± 0,19 ^a
Глицин**	0,52 ± 0,05 ^b	0,18 ± 0,02 ^a	0,87 ± 0,08 ^c	Олеиновая (C18:1)	4,69 ± 0,83 ^a	8,83 ± 1,68 ^b	4,89 ± 0,93 ^a
Аланин	0,63 ± 0,05 ^a	0,83 ± 0,07 ^{ab}	0,93 ± 0,08 ^b	Линолевая (C18:2)	12,40 ± 3,02 ^a	18,37 ± 4,47 ^b	18,01 ± 1,93 ^b
Серин	0,86 ± 0,04 ^a	2,04 ± 0,10 ^c	1,33 ± 0,07 ^b	Линоленовая (C18:3)	27,51 ± 2,49 ^a	27,70 ± 3,19 ^a	28,22 ± 3,25 ^a
Тирозин	0,27 ± 0,02 ^a	0,38 ± 0,03 ^{ab}	0,50 ± 0,03 ^b				
Аргинин**	0,56 ± 0,03 ^b	0,43 ± 0,02 ^a	1,02 ± 0,06 ^c				
Глутамин	0,48 ± 0,01 ^a	4,09 ± 0,02 ^c	3,58 ± 0,02 ^b				
Аспарагин**	0,47 ± 0,01 ^a	1,16 ± 0,01 ^b	2,11 ± 0,01 ^c				

Примечание: данные представлены в виде М ± SD. Значения, обозначенные разными надстрочными латинскими буквами (a, ab, b, c), статистически достоверно отличаются друг от друга ($p \leq 0,05$) согласно постхок-тесту Тьюки (HSD). Одинаковые буквы указывают на отсутствие статистически значимых различий ($p > 0,05$). Символами (**) отмечены показатели с высокосignificantными различиями ($p \leq 0,001$): аспарагин, цистеин, лизин, пролин, серин, гистидин, аргинин, треонин, глицин, изолейцин.

среди них доминировала пальмитиновая кислота (C16:0), что согласуется с другими источниками [118]. В наименьшем количестве была представлена миристиновая кислота (C14:0). Кластерный анализ позволил выделить ее в отдельный независимый ряд (Рисунок 5). Исследования показали, что миристиновая кислота обладает различными полезными для здоровья свойствами, включая антимикробное и противовоспалительное действие [119]. Кислота демонстрирует уникальные физиологические свойства по сравнению с другими насыщенными жирными кислотами. Потребление кислоты положительно коррелирует с концентрациями клеточных биоактивных липидов, включая n-3 полиненасыщенные жирные кислоты (n-3 ПНЖК) и церамид. Это является результатом миристоилирования N-концевых остатков глицина некоторых ферментов у млекопитающих, таких как НАДН-цитохром b5-редуктаза и дигидроцерамид Δ^4 -десатураза [120]. Разработанные производные миристиновой кислоты были синтезированы путем преобразования миристиновой кислоты в миристоилхлорид и связывания его с ариламидами для получения соответствующих производных миристиновой кислоты. В противогрибковой оценке *in vitro* производные миристиновой кислоты оценивались против штаммов *Candida albicans* и *Aspergillus niger* путем определения их минимальных ингибирующих концентраций (50 мкг/мл) [121].

Также листья стевии были богаты линолевой (C18:2) и линоленовой (C18:3) кислотами. Расчет индекса соотношения данных полиненасыщенных омега жирных кислот (ω -6/ ω -3) показал небольшое повышение его значений на двух удобрительных фонах по сравнению с контролем на воде за счет равнозначного увеличения синтеза обоих компонентов. Возрастание их концентраций при употреблении в конечном пищевом продукте важно при развитии головного мозга, органов зрения, половых желез, почек, кожи. Они также предотвращают риск развития гипертонических заболеваний сердца, включая коронарную недостаточность [122,123]. Их баланс в лекар-

ственных и пищевых растениях должен находиться в диапазоне 1:1–2. При этом современные западные методы ведения сельского хозяйства направлены на увеличение накопления в продуктах линолевой кислоты, входящей в группу омега-6 жирных кислот [124], что приводит к дефициту в рационе питания линоленовой омега-3 кислоты, которая может препятствовать распространению в организме клеток злокачественных образований [125,126]. Предполагается, что все ННЖК в рационе могут снижать уровень холестерина липопротеинов низкой плотности, тогда как все НЖК, напротив, способствуют его повышению. Поэтому повышение показателя соотношения ННЖК/НЖК при внесении в среду удобрений также можно интерпретировать улучшением качества листьев в виде диетического продукта. Зоогумус при этом незначительно уступал минеральным удобрениям (Рисунок 6).

Не обнаружено статистически значимых различий в параметрах между суммарным накоплением химических элементов после внесения минеральных и органических удобрений. Среди преобладающих эссенциальных макроэлементов в суммарном пуле их содержания, в биомассе растений, можно выделить возрастание доли накопления калия, кальция, магния и фосфора при добавлении органики и минеральных удобрений (Таблица 4). Полученные значения были сопоставлены с МР 2.3.1.0253–21⁵, ТР ТС 021/2011⁶, а также с референсными значениями EFSA [127] и рекомендациями (целевой

⁵ Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.) Электронный ресурс <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/>. Дата доступа 25.01.2026

⁶ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»: утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 880; дата введения 01.07.2013. Электронный ресурс <https://docs.cntd.ru/document/902320560>. Дата доступа 25.01.2026

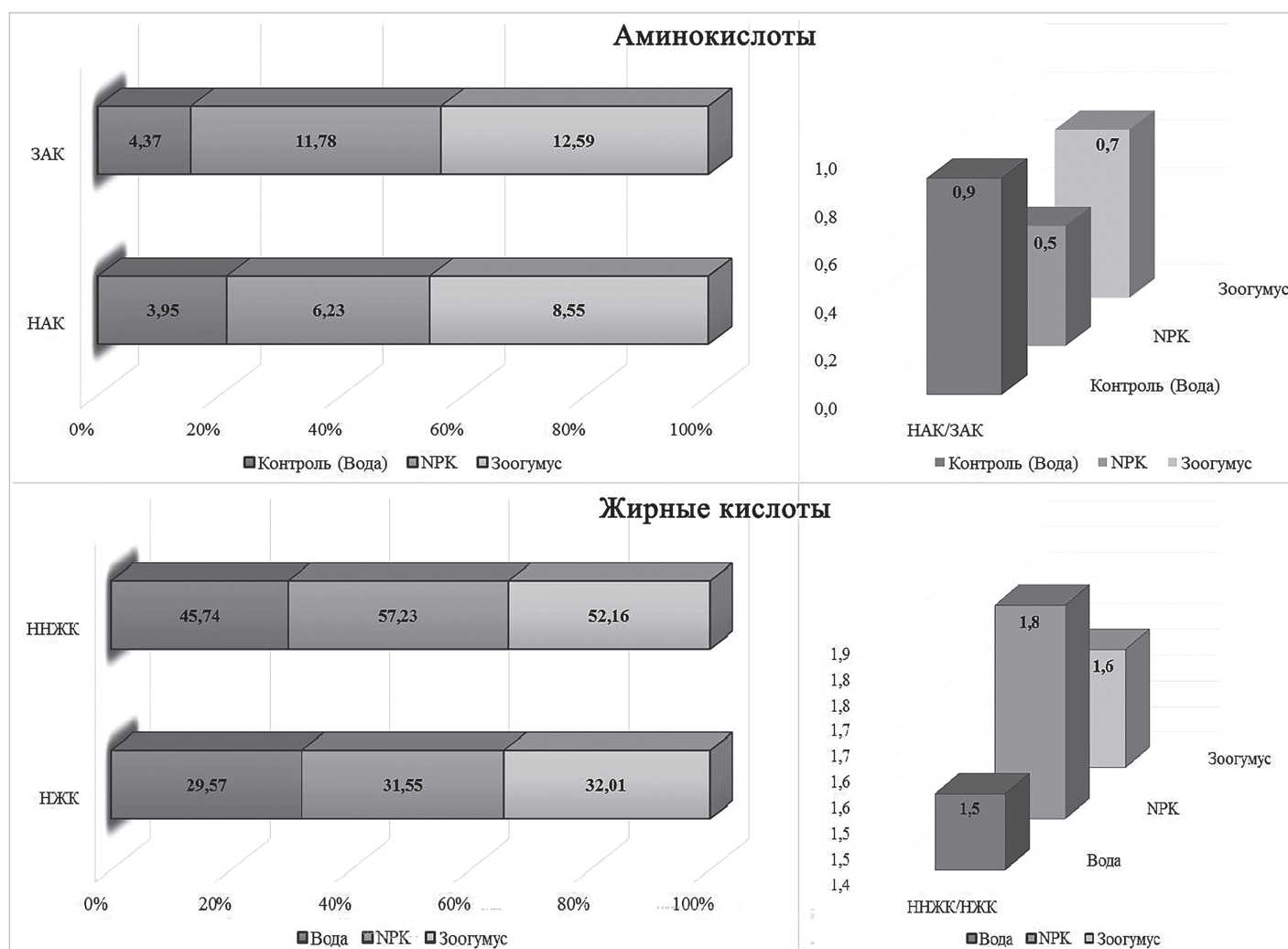


Рисунок 6. Суммарный выход amino- и жирных кислот в листьях стевии по вариантам опыта и соотношение компонентов во фракциях

Figure 6. Total yield of amino acids and fatty acids in stevia leaves by variants of the experiment and the ratio of the components in the fractions

уровень) ВОЗ/ФАО [128]. Расчет суточного поступления элементов проводился исходя из типичной дозы применения высушенного листа стевии в качестве пищевой добавки или ингредиента чайных напитков — 1–5 г/сут. Макроэлементный состав листьев во всех вариантах опыта (Ca 494–633, P 230–322, Na 85–119, K 1394–2026, Mg 268–370 мг/100 г сухой массы) соответствует диапазонам, описанным в литературе для высушенных листьев *S. rebaudiana*: Ca 309–1221, P 183–403, Na 15–186, K 1083–3168, Mg 134–474 мг/100 г [2,3,36]. Для эссенциальных макроэлементов ТР ТС 021/2011⁶ не устанавливает предельных уровней содержания непосредственно в пищевом растительном сырье; регламентирование безопасности осуществляется через верхние допустимые уровни суточного потребления (ВДУСП) [129]: Ca — 2500 мг/сут; P — 3000 мг/сут; Mg — 250 мг/сут (только из добавок; из пищевых источников ВДУСП не установлен); K — ВДУСП не установлен ввиду низкой токсичности при пероральном потреблении [130]; Na — целевой уровень < 2000 мг/сут [128] (профилактика ССЗ, не токсикологический ВДУСП). При потреблении 1 г листьев в сутки вклад каждого элемента в ВДУСП составляет: Ca — не более 0,25 % от ВДУСП (4,9–6,3 мг из 2500 мг); P — не более 0,11 % от ВДУСП (2,3–3,2 мг из 3000 мг); Mg — < 1,5 % от ВДУСП по добавкам (2,7–3,7 мг из 250 мг); Na — не более 0,06 % от целевого уровня (0,9–1,2 мг из 2000 мг) [128]. Вклад 1 г листьев в рекомендуемые нормы потребления (РНП) (МР 2.3.1.0253–21⁵): K — 1,4–2,0 % от РНП (2500 мг/сут); Ca — 0,5–0,6 % от РНП (1000 мг/сут); Mg — 0,7–0,9 % от РНП (400 мг/сут), нутрициологически значимый, но не создающий риска превышения ВДУСП вклад. Среди микроэлементов особенно рассмотрения заслуживает марганец (Mn), содержание которого в листьях стевии составило 22,8–48,0 мг/100 г — значения, характерные для данного вида, известного как Mn-аккумулятор (литературный диапазон: 20–70 мг/100 г сухой массы). При суточном потреблении 1–2 г листьев поступление Mn составляет 0,23–0,96 мг/сут, что не превышает адекватного уровня потребления АУП (Mn = 2 мг/сут, МР 2.3.1.0253–21⁵) и существенно ниже верхнего допустимого уровня ВДУ (11 мг/сут) [131].

Таблица 4. Содержание минеральных элементов в сухом листе стевии, мг/100 г

Table 4. Content of minerals in the stevia dry leaves, mg/100 g

Макроэлементы	Контроль (Вода)	НРК	Зоогумус
Кальций	494,2 ± 48,8 ^a	633,4 ± 58,4 ^b	582,7 ± 63,6 ^{ab}
Фосфор	230,2 ± 24,1 ^a	303,2 ± 19,8 ^b	322,4 ± 18,9 ^b
Натрий	84,9 ± 17,6 ^a	118,9 ± 17,5 ^b	89,0 ± 19,4 ^a
Калий	1393,9 ± 192,5 ^a	1790 ± 154,4 ^{ab}	2026,2 ± 243,6 ^b
Магний	267,8 ± 12,9 ^a	369,7 ± 16,8 ^b	341,4 ± 27,5 ^b
Микроэлементы	Контроль (Вода)	НРК	Зоогумус
Железо	31,9 ± 5,1 ^a	34,1 ± 5,3 ^a	42,5 ± 4,9 ^b
Цинк	4,4 ± 1,4 ^a	2,1 ± 0,6 ^a	3,2 ± 0,4 ^a
Бор	2,3 ± 0,4 ^a	6,5 ± 0,9 ^b	3,8 ± 0,6 ^a
Медь	0,8 ± 0,1 ^b	0,4 ± 0 ^a	0,4 ± 0,1 ^a
Марганец	22,8 ± 2,8 ^a	40,1 ± 4,1 ^b	48,0 ± 3,1 ^c

Примечание: данные представлены в виде M ± SD. Значения, обозначенные разными надстрочными латинскими буквами (a, ab, b, c), статистически достоверно отличаются друг от друга ($p \leq 0,05$) согласно постхок-тесту Тьюки (HSD). Одинаковые буквы указывают на отсутствие статистически значимых различий ($p > 0,05$). Отсутствие достоверных различий между НРК и зоогумусом по суммарному пулу элементов свидетельствует о сопоставимой питательной ценности органического удобрения.

Содержание железа (Fe 31,9–42,5 мг/100 г) при потреблении 1 г/сут обеспечивает до 5,3 % РНП (МР 2.3.1.0253–21⁵) для женщин (18 мг/сут) — пищевой вклад, актуальный для профилактики железодефицитных состояний. Значения бора (B 2,3–6,5 мг/100 г) и меди (Cu 0,4–0,8 мг/100 г) при типичных дозах использования стевии (< 0,13 мг B/сут и < 0,016 мг Cu/сут) остаются в десятки раз ниже ВДУСП [129]: B ≤ 10 мг/сут; Cu ≤ 5 мг/сут), а содержание цинка (Zn 2,1–4,4 мг/100 г) при разовом поступлении < 0,09 мг/сут не превышает 1 % от РНП (МР 2.3.1.0253–21⁵) (Zn 12 мг/сут). Тяжелые металлы (Pb, Cd, As, Hg) в исходном сырье зоогумуса (Таблица 2) находились в пределах регламентируемых ТР ТС 021/2011⁶ значений (Pb ≤ 0,50, Cd ≤ 0,10, As ≤ 0,20 мг/кг), что исключает их лимитирующую роль для безопасности конечного продукта.

Фосфор является неотъемлемой частью многих гликофосфатов, таких как уридиндифосфатглюкоза (UDP-glc), молекула-донор глюкозы в синтезе дитерпеновых гликозидов. Калий действует как активатор ферментов, которые жизненно важны для создания различных пеп-

тидных связей. Повышение его содержания в растении сопровождается увеличением количества ветвей и числа плодов (семян). Магний и кальций являются вторичными питательными элементами, поэтому растения обычно больше нуждаются в потреблении калия и фосфора. Из микроэлементов в биомассе можно выделить накопление бора, железа и марганца. Бор играет ключевую роль во многих биохимических процессах в растениях, включая формирование структуры меристем и целостности мембран, транспорт углеводов, лигнификацию, синтез белков и фенолов, а также синтез нуклеиновых кислот, хлорофилла и индолилуксусной кислоты [132]. Поэтому накопление его в зеленой биомассе может быть связано с улучшением характеристик роста и развития стевии, а также с повышением количества вторичных метаболитов, включая стевиозид, как это было показано ранее на примере его экзогенного внекорневого применения в виде борной кислоты [133]. Сказывалось это и на улучшении ризогенеза [134].

В глобальных продовольственных системах, отвечающих за проявление «скрытого голода», железо является дефицитным микроэлементом. Оно также участвует в синтезе хлорофилла, тилакоидов и хлоропластов [135]. Железо включено в цикл передачи энергии внутри клеток, являясь компонентом некоторых ферментов и играя активную роль в цепи их превращений. Ранее также показана его положительная роль в усвоении культурой питательных веществ из среды в условиях *in vitro* [136] и выработки натуральных гликозидов [137] при ее нанобработках. За счет антагонистических проявлений между железом, медью и цинком в биомассе отмечено уменьшение концентрации последних двух. Марганец в растениях обычно действует как кофактор-активатор метаболических процессов. Благодаря своей способности легко менять степень окисления, марганец участвует в активности ферментов, связанных с процессами фосфорилирования, декарбоксилирования, реакциями восстановления и гидролиза. Поскольку по своей функции он схож с магнием, он также способен влиять на дыхание, синтез аминокислот, биосинтез лигнина и уровень содержания фитогормонов в растении. В фотосинтетическом механизме марганец катализирует реакцию расщепления воды в фотосистеме II. При этом, несмотря на всю важность марганца для фотосинтеза и других процессов, физиологическая значимость поглощения и распределения марганца в растениях недооценивается. Связано это прежде всего с тем, что в отличие от железа и бора, которые обычно являются неотъемлемыми компонентами ферментов, в биохимических процессах марганец часто может быть заменен другими ионами металлов [138,139]. Таким образом, хотя потребность растений в микроэлементах довольно низкая, в целом накопление их в пищевом продукте под влиянием удобрений можно рассматривать как полезный процесс.

Дисперсионный анализ выявил статистически значимые различия ($p < 0,05$) между вариантами удобрений для 23 из 37 проанализированных показателей (62,2 %). Наиболее значимые различия ($p < 0,001$) обнаружены среди профиля аминокислот: аспарагина, цистеина, лизина, пролина, серина, гистидина, аргинина, треонина, глицина и изолейна.

Корреляционный анализ выявил 3 пары сильных положительных симбатных связей ($r > 0,7$):

- Вода ↔ НРК: $r = 0,9999$
- Вода ↔ Зоогумус: $r = 0,9979$
- НРК ↔ Зоогумус: $r = 0,9979$

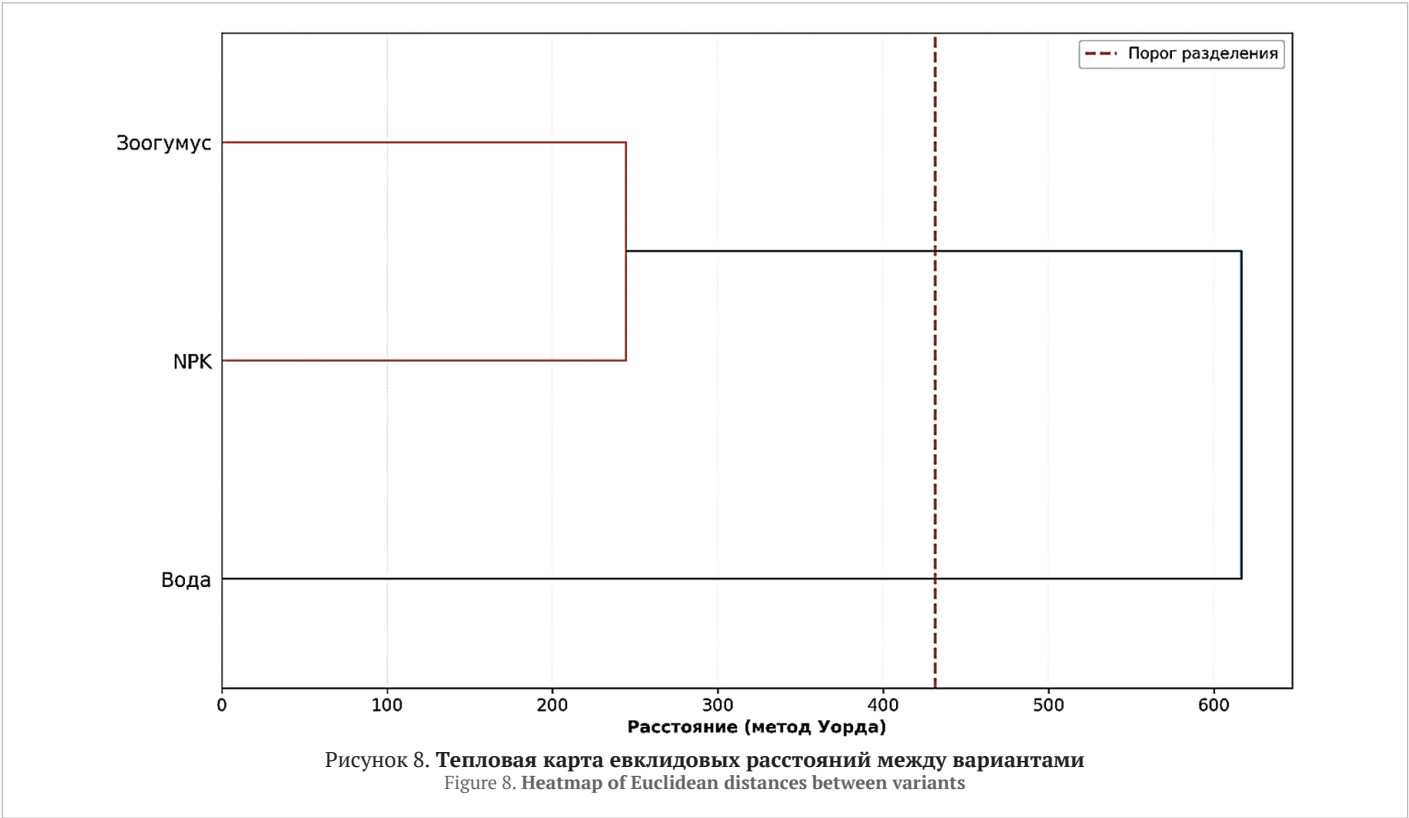
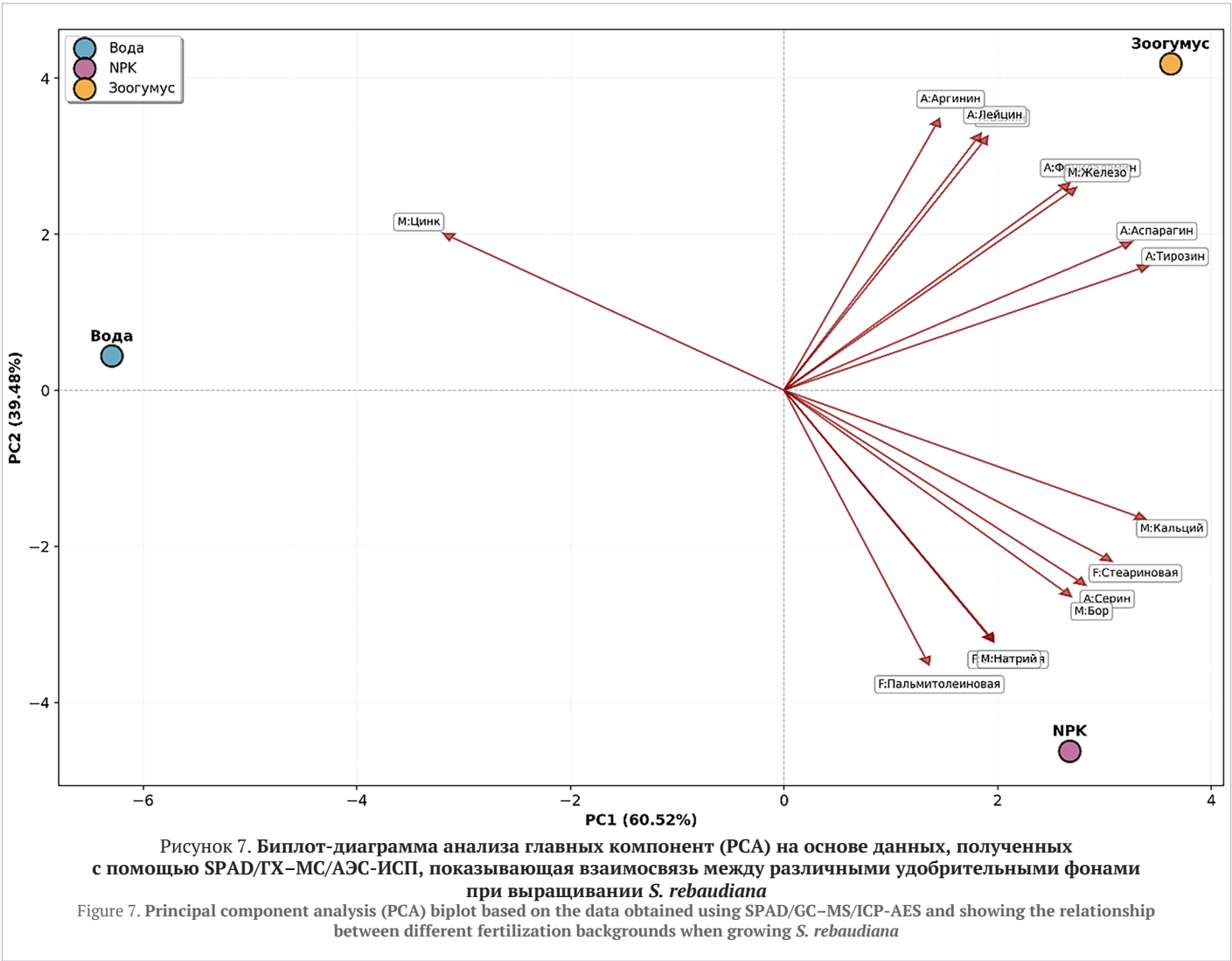
Отрицательных асимбатных корреляций не обнаружено.

Метод главных компонент был использован для оценки взаимосвязи и различий между измеренными параметрами в контрольной и экспериментальной группах растений путем визуализации всего полученного набора биохимических и морфометрических данных, взятых из отдельных вариантов. РСА-анализ позволил редуцировать размерность данных в многомерном пространстве и выявить два главных компонента (паттерна), объясняющих 100 % дисперсии всех изученных апартментов (Рисунок 7):

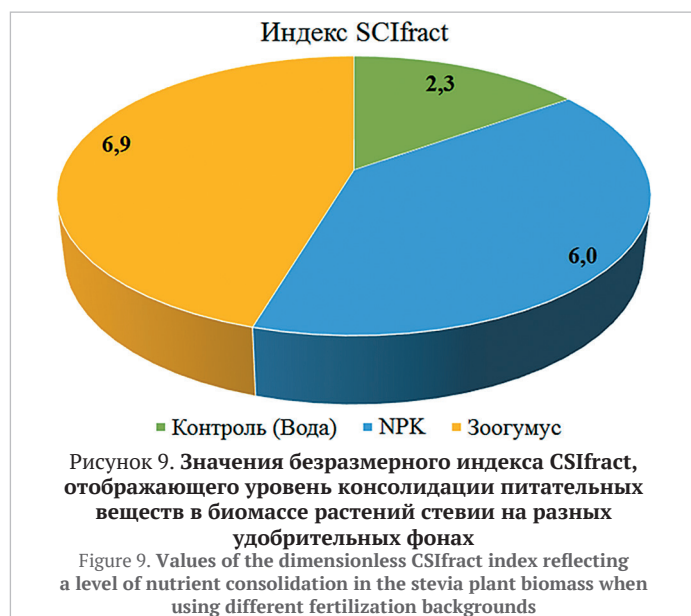
- PC1 (60,52 %): отражает общую интенсивность накопления биохимических компонентов;
- PC2 (39,48 %): отражает специфические различия между вариантами удобрений.

Наибольшую нагрузку на PC1 оказывает содержание линоленовой кислоты, изолейцина, меди, фосфора и пальмитиновой кислоты.

Иерархическая кластеризация методом Уорда с евклидовой метрикой расстояния позволила оценить степень сходства между вариантами удобрений. Наименьшее расстояние наблюдается между вариантами НРК и Зоогумус, что указывает на наибольшее их сходство по комплексу показателей данных типов удобрений. Контрольный вариант при выращивании на воде наиболее отличается от варианта с использованием экстракта зоогумуса (Рисунок 8).



Дополнительный расчет индексов CSIfract в нейросети показал, что применение зоогумуса вместо NPK привело к увеличению уровня консолидации питательных веществ в биомассе растений. Индекс CSIfract здесь составил 6,9 вместо 6,0, как это было на минеральном фоне (Рисунок 9).



4. Заключение

На основании сравнительного анализа влияния различных удобрительных фонов на урожайность и биохимический состав зеленой

биомассы *S. rebaudiana*, выращиваемой в условиях агрегатопоники в течение 60 суток, сформулированы следующие выводы.

1. Экстракт зоогумуса *H. illucens* (1,0%) обеспечивает большую прибавку вегетативной биомассы (+ 66%) и высоты побегов (+ 29%) стевии по сравнению с контролем, превышая отдачу минерального удобрения NPK по высоте побегов. Это подтверждает целесообразность применения зоогумуса в технологиях выращивания стевии в защищенном грунте.
2. По совокупности биохимических показателей аминокислотного профиля достоверные различия ($p \leq 0,001$) зафиксированы в 10 из 17 аминокислот. Суммарный выход незаменимых аминокислот при применении зоогумуса превышал вариант NPK, что улучшает пищевую ценность листа стевии как сырья для пищевой и фармацевтической промышленности.
3. Несмотря на отсутствие статистически значимых различий между NPK и зоогумусом по суммарному накоплению минеральных элементов ($p > 0,05$), зоогумус обеспечивает достоверно более высокое накопление калия, железа и марганца ($p \leq 0,05$).
4. В целом минеральный профиль листьев *S. rebaudiana* во всех удобрительных вариантах соответствует требованиям технических регламентов к пищевому растительному сырью и демонстрирует высокий нутрициологический потенциал культуры, особенно с точки зрения восполнения суточной потребности в K, Mg и Fe.
5. Нейросетевой анализ с расчетом индексов CSIfract показал, что уровень консолидации питательных веществ в биомассе стевии на зоогумусе (CSIfract = 6,9) превышает минеральный фон (CSIfract = 6,0), что позволяет рекомендовать зоогумус в качестве основного удобрения в стратегиях биофортификации и органического выращивания стевии.
6. Необходимо отметить, что оценка содержания стевииолигосахаридов в листьях растений не входила в задачи настоящего исследования. Изучение влияния различных удобрительных режимов на накопление целевых гликозидов (стевииозидов, ребаудиозидов) является перспективным направлением для последующих работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Синявина, Н. Г., Кочетов, А. А., Егорова, К. В. (2022). Стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni): биологические особенности и факторы, влияющие на рост растений и накопление сладких гликозидов. *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*, 164(1), 46–75. [Sinyavina, N. G., Kochetov, A. A., Egorova, K. V. (2022). *Stevia (Stevia rebaudiana Bertoni): Biological properties and factors affecting plant growth and sweet glycosides accumulation. Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 164(1), 46–75. (In Russian)] <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2022.1.46-75>
2. Lemus-Mondaca, R., Vega-Gálvez, A., Zura-Bravo, L., Ah-Hen, K. (2012). *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a highpotency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry*, 132(3), 1121–1132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.140>
3. Abou-Arab, A. E., Abou-Arab, A. A., Abu-Salem, M. F. (2010). Physio-chemical assessment of natural sweeteners stevioside produced from *Stevia rebaudiana* Bertoni plant. *African Journal of Food Science*, 4(5), 269–281. <https://doi.org/10.21608/ajfs.2009.115819>
4. Samuel, P., Ayoob, K. T., Magnuson, B. A., Wölwer-Rieck, U., Jeppesen, P. B., Rogers, P. J. et al. (2018). Stevia leaf to stevia sweetener: Exploring its science, benefits, and future potential. *Journal of Nutrition*, 148(7), 1186S–1205S. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy102>
5. Dhanish, D., Junia, G. (2019). Remedial potentials of sweet leaf a review on *Stevia rebaudiana*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 54, 91–95.
6. Žlabur, J. Š., Voca, S., Dobricevic, N., Ježek, D., Bodiljkov, T., Brnčić, M. (2013). *Stevia rebaudiana* Bertoni — a review of nutritional and biochemical properties of natural sweetener. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 78, 25–30.
7. Basharat, S., Huang, Z., Gong, M., Lv, X., Ahmed, A., Hussain, I. et al. (2021). A review on current conventional and biotechnical approaches to enhance biosynthesis of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana*. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 30, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2020.10.018>
8. Myint, K.Z., Wu, K., Xia, Y., Fan, Y., Shen, J., Zhang, P. et al. (2020). Polyphenols from *Stevia rebaudiana* (Bertoni) leaves and their functional properties. *Journal of Food Science*, 85(2), 240–248. <https://doi.org/10.1111/1750-5841.15017>
9. Goyal, S. K., Samsher, Goyal, R. K. (2010). Stevia (*Stevia rebaudiana*) a bio-sweetener: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61(1), 1–10. <https://doi.org/10.3109/09637480903193049>
10. Salvador-Reyes, R., Sotelo-Herrera, M., Paucar-Menacho, L. (2014). Estudio de la Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) como edulcorante natural y su uso en beneficio de la salud. *Scientia Agropecuaria*, 5, 157–163. [Salvador-Reyes, R., Sotelo-Herrera, M., Paucar-Menacho, L. (2014). Study of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) as a natural sweetener and its use in benefit of the health. *Scientia Agropecuaria*, 5, 157–163. (In Spanish)] <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2014.03.06>
11. Chatsudthipong, V., Muanprasat, C. (2009). Stevioside and related compounds: Therapeutic benefits beyond sweetness. *Pharmacology and Therapeutics*, 121(1), 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2008.09.007>
12. Amchra, F. Z., Al Faiz, C., Chaouqi, S., Khiraoui, A., Benhmimou, A., Guedira, T. (2018). Effect of *Stevia rebaudiana*, sucrose and aspartame on human health: A comprehensive review. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 6, 102–108.
13. Каххорова, С. И. К., Кароматов, И. Д. (2017). Пищевое и лекарственное растение стевия (обзор литературы). *Биология и интегративная медицина*, 11, 107–125. [Kakhkhorova, S. I. K., Karomatov, I. D. (2017). Food and herb stevia (review of literature). *Biology and Integrative Medicine*, 11, 107–125. (In Russian)]
14. Sharma, S., Wallia, S., Singh, B., Kumar, R. (2016). Comprehensive review on agro technologies of low-calorie natural sweetener stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): A boon to diabetic patients. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(6), 1867–1879. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7500>
15. Patel, S., Navale, A. (2024). The natural sweetener stevia: An updated review on its phytochemistry, health benefits, and anti-diabetic study. *Current Diabetes Reports*, 20(2), Article e010523216398. <https://doi.org/10.2174/1573399819666230501210803>
16. Arumugam, B., Subramaniam, A., Alagaraj, P. (2020). Stevia as a natural sweetener: A review. *Cardiovascular and Hematological Agents in Medicinal Chemistry*, 18(2), 94–103. <https://doi.org/10.2174/1871525718666200207105436>
17. Aranda-González, I., Segura-Campos, M., Moguel-Ordoñez, Y., Betancur-Ancona D. (2014). *Stevia rebaudiana* Bertoni. Un potencial adyuvante en el tratamiento de la diabetes mellitus. *CyTA — Journal of Food*, 12(3), 218–226. [Aranda-González, I., Segura-Campos, M., Moguel-Ordoñez, Y., Betancur-Ancona D. (2014). *Stevia rebaudiana* Bertoni: A potential adjuvant in the treatment of diabetes mellitus. *CyTA — Journal of Food*, 12(3), 218–226. (In Spanish)] <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.830150>
18. Anton, S. D., Martin, C. K., Han, H., Coulon, S., Cefalu, W. T., Geiselman, P. et al. (2010). Effects of stevia, aspartame, and sucrose on food intake, satiety, and postprandial glucose and insulin levels. *Appetite*, 55(1), 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2010.03.009>
19. Ahmed, S. R., Mukta, S. (2017). Review on *Stevia rebaudiana* as a non-caloric natural sweetener producing plant. *Journal of the Sylhet Agricultural University*, 4(1), 15–25.
20. Ahmad, J., Khan, I., Blundell, R., Azzopardi, J. I., Mahomoodally, F. (2020). *Stevia rebaudiana* B.: An updated review of its health benefits, industrial applications and safety. *Trends in Food Science and Technology*, 100, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.04.030>
21. Purkayastha, S., Markosyan, A., Prakash, I., Bhusari, S., Pugh, G., Lynch, B. Jr. et al. (2016). Steviol glycosides in purified stevia leaf extract sharing the same metabolic fate. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 77, 125–133. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.02.015>
22. Pol, J., Hohnova, B., Hyotylainen, T. (2007). Characterisation of *Stevia rebaudiana* by comprehensive two-dimensional liquid chromatography time-of-flight mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1150(1–2), 85–92. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.09.008>

23. Suttajit, M., Vinitketkaumnue, U., Meevatee, U., Buddhasukh, D. (1993). Mutagenicity and human chromosomal effect of stevioside, a sweetener from *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Environmental Health Perspectives*, 101(suppl 3), 53–56. <https://doi.org/10.1289/ehp.93101s353>
24. Barriocanal, L. A., Palacios, M., Benitez, G., Benitez, S., Jimenez, J. T., Jimenez, N. et al. (2008). Apparent lack of pharmacological effect of steviol glycosides used as sweeteners in humans. A pilot study of repeated exposures in some normotensive and hypotensive individuals and in Type 1 and Type 2 diabetics. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 51(1), 37–41. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2008.02.006>
25. Jeong, I.-Y., Lee, H.-J., Jin, G.-H., Park, Y.-D., Choi, D.-S., Kang, M.-A. (2010). Anti-inflammatory activity of *Stevia rebaudiana* in LPS-induced RAW 264.7 cells. *Journal of Food Science and Nutrition*, 15(1), 14–18. <https://doi.org/10.3746/jfn.2010.15.1.014>
26. Arya, A., Kumar, S., Kasana, M. S. (2012). Anti-inflammatory activity of in vitro regenerated calli and in vivo plant of *Stevia rebaudiana* (Bert.) Bertoni. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 2(8), 1–5.
27. Papaefthimiou, M., Kontou, P. I., Bagos, P. G., Braliou, G. G. (2023). Antioxidant activity of leaf extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni exerts attenuating effect on diseased experimental rats: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 15(15), Article 3325. <https://doi.org/10.3390/nu15153325>
28. Ruiz-Ruiz, J. C., Moguel-Ordóñez, Y. B., Matus-Basto A. J., Segura-Campos M. R. (2015). Antidiabetic and antioxidant activity of *Stevia rebaudiana* extracts (Var. Morita) and their incorporation into a potential functional bread. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 7894–7903. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1883-3>
29. Ghanta, S., Banerjee, A., Poddar, A., Chattopadhyay, S. (2008). Oxidative DNA damage preventive activity and anti-oxidant potential of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni, a natural sweetener. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(26), 10962–10967. <https://doi.org/10.1021/jf071892q>
30. Shukla, S., Mehta, A., Mehta, P., Bajpai, V. K. (2012). Antioxidant ability and total phenolic content of aqueous leaf extract of *Stevia rebaudiana* Bert. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 64(7–8), 807–811. <https://doi.org/10.1016/j.etp.2011.02.002>
31. Rao, G. N., Rao, P. P., Balaswamy, K., Satyanarayana, A. (2014). Antioxidant activity of stevia (*Stevia rebaudiana* L.) leaf powder and a commercial stevioside powder. *Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 2(2), 32–38.
32. Kedik, S. A., Yartsev, E. I., Stanishevskaya, I. E. (2009). Antiviral activity of dried extract of *Stevia*. *Pharmaceutical Chemistry Journal*, 43(4), 198–199.
33. Iawsipo, P., Somana, J., Patthamawan, P., Kaewmahatthai, T., Roy, S. (2024). Exploring stevia leaf residue extracts: Antibacterial and antioxidant potential as natural food preservatives. *Trends in Sciences*, 21(9), Article 8113. <https://doi.org/10.48048/tis.2024.8113>
34. Kim, I.-S., Yang, M., Lee, O.-H., Kang, S.-N. (2011). The antioxidant activity and the bioactive compound content of *Stevia rebaudiana* water extracts. *LWT – Food Science and Technology*, 44(5), 1328–1332. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.003>
35. Das, K. (2013). Wound healing potential of aqueous crude extract of *Stevia rebaudiana* in mice. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 23(2), 351–357. <https://doi.org/10.1590/s0102-695x2013005000011>
36. Gupta, E., Purwar, S., Sundaram, S., Rai, G. K. (2013). Nutritional and therapeutic values of *Stevia rebaudiana*: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(46), 3343–3353.
37. Abdel-Fatt, S. M., Badr, A. N., Abu Seif, F. A.-H., Mohamed Ali, S., Ahmed Hassan, R. (2018). Antifungal and anti-mycotoxinogenic impact of eco-friendly extracts of wild stevia. *Journal of Biological Sciences*, 18(8), 488–499. <https://doi.org/10.3923/jbs.2018.488.499>
38. Ghosh, S., Subudhi, E., Nayak, S. (2008). Antimicrobial assay of *Stevia rebaudiana* Bertoni leaf extracts against 10 pathogens. *International Journal of Integrative Biology*, 2(1), 27–31.
39. Jayaraman, S., Manoharan, M., Illanchezian, S. (2008). In-vitro antimicrobial and antitumor activities of *Stevia rebaudiana* (Asteraceae) leaf extracts. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 7(4), 1143–1149. <https://doi.org/10.4314/tjpr.v7i4.14700>
40. Moselhy, S. S., Ghoneim, M. A., Khan, J. A. (2016). In vitro and in vivo evaluation of antimicrobial and antioxidant potential of stevia extract. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 13(6), 18–21. <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v13i6.4>
41. Chaudhary, S., Kiran, S., Sreeja, V. (2024). Functional aspects of stevia: A review. *Journal of Phytopharmacology*, 13(1), 64–69. <https://doi.org/10.31254/phyto.2024.13109>
42. Ntalli, N., Kasiotis, K. M., Baira, E., Stamatis, C. L., Machera, K. (2020). Nematocidal activity of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) assisted by phytochemical analysis. *Toxins*, 12(5), Article 319. <https://doi.org/10.3390/toxins12050319>
43. Karimi, M., Hashemi, J., Ahmadi, A., Abbasi, A., Esfahani, M. (2014). Study on the bioactivity of steviol and isosteviol in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Acta Physiologiae Plantarum*, 36(12), 3243–3248. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1690-x>
44. Огороднова, У. А., Сапунова, А. С., Тимофеева, О. А., Миронов, В. Ф. (2020). Стевиозид обладает максимальной биологической активностью среди природных дитерпенов стевии. *Доклады Российской академии наук. Науки о жизни*, 492(1), 226–229. [Ogorodnova, U. A., Sapunova, A. S., Timofeeva, O. A., Mironov, V. F. (2020). Stevioside has the maximum biological activity among natural stevia diterpenes. *Doklady Biological Sciences*, 492(1), 226–229. (In Russian)] <https://doi.org/10.31857/S2686738920030105>
45. Синявина, Н. Г., Кочетов, А. А., Егорова, К. В., Вертебный, В. Е., Хомяков, Ю. В. (2020). Водный экстракт из листьев стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni) как биостимулятор роста растений в светокультуре. *Овощи России*, 6, 31–35. [Sinyavina, N. G., Kochetov, A. A., Egorova, K. V., Veretebny, V. E., Khomyakov, Yu. V. (2020). The possibility of using of an aqueous extract from stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaves as a biostimulant of plant growth in photoculture. *Vegetable Crops of Russia*, 6, 31–35. (In Russian)] <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-31-35>
46. Khiraoui, A., Bakha, M., Boulli, A., Hasib, A., Al Faiz, C. (2021). The productivity of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) on dry leaves and steviol glycosides of four varieties grown in six regions of Morocco. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 37, Article 102151. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2021.102151>
47. Mahdavi, M., Jurado, F., Schmitt, K., Ramos R. A. V. (11–12 March, 2023). *Future heat and electricity generation from Bertoni plant in Morocco*. IEEE IAS Global Conference Renewable Energy and Hydrogen Technologies, Male, Maldives. IEEE, 2023. <https://doi.org/10.1109/GlobConHTS56829.2023.10087694>
48. Mahdavi, M., Awafo, A., Jurado, F. (2024). A sustainable rural electrification of morocco using stevia biomass power generation: Lessons for paraguay. *IEEE Latin America Transactions*, 22(11), 911–919. <https://doi.org/10.1109/TLA.2024.10735445>
49. Кочетов, А. А. (2012). Перспективы выращивания стевии [*Stevia rebaudiana* Bertoni (L.)] в нечерноземной зоне России. *Аграрная Россия*, 2, 2–4. [Kochetov, A. A. (2012). Prospects of cultivation of *Stevia rebaudiana* Bertoni (L.) in non-chernozem zone of Russia. *Agrarnaya Rossiya (Agrarian Russia)*, 2, 2–4. (In Russian)] <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2012-2-2-4>
50. Кочетов, А. А., Синявина, Н. Г. Стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni): биохимический состав, терапевтические свойства и использование в пищевой промышленности (обзор). *Химия растительного сырья*, 2, 5–27. [Kochetov, A. A., Sinyavina, N. G. (2021). Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): Biochemical composition, therapeutic properties and use in the food industry (review). *Khimija Rastitel'nogo Syr'ya*, 2, 5–27. (In Russian)] <https://doi.org/10.14258/jcpim.2021027931>
51. Rahmesh, K., Singh, V., Megeji, N. (2006). Cultivation of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni): A comprehensive review. *Advances in Agronomy*, 89, 137–177. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(05\)89003-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(05)89003-0)
52. Kumar, R., Sood, S., Sharma, S., Kasana, R. C., Pathania, V. L., Singh, B. et al. (2013). Effect of plant spacing and organic mulch on growth, yield, and quality of natural sweetener plant stevia and soil fertility in western Himalaya. *International Journal of Plant Production*, 8(3), 311–334.
53. Pal, P. K., Kumar, R., Guleria, V., Mahajan, M., Prasad, R., Pathania, V. et al. (2015). Crop-ecology and nutritional variability influence growth and secondary metabolites of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *BMC Plant Biology*, 15(1), Article 67. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0457-x>
54. Jarma-Orozco, A., Combatt, E. M., Polo, J. (2012). Glycoside contents depending on the nutrient deficiencies in *Stevia rebaudiana* Bert. *Revista UDCA de Actualidad y Divulgacion Cientifica*, 15(1), 107–116.
55. Büyüç, G., Bayram, C. A., İnan, M., Kırpık, M. (2022). The effect of organic and inorganic fertilizers on plant nutrient content and agronomic performance of stevia. *Journal of Plant Nutrition*, 45(15), 2303–2314. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2063739>
56. Bidabadi, S. S., Afazel, M., Poodeh, S. D. (2016). The effect of vermicompost leachate on morphological, physiological and biochemical indices of *Stevia rebaudiana* Bertoni in a soilless culture system. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(3), 251–262. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0135-5>
57. Пендюрин, Е. А., Рыбина, С. Ю., Смоленская, Л. М. (2020). Использование зоокомпоста Черной львинки в качестве органического удобрения. *Аграрная наука*, 7–8, 106–110. [Penduryn, E. A., Rybina, S. Yu., Smolenskaya, L. M. (2020). Using the zoo compost of the Black Lioness as an organic fertilizer. *Agrarian Science*, 7–8, 106–110. (In Russian)] <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-106-110>
58. Шинкарев, С. М., Аксенов, А. В., Тарасов, С. И. (2008). Применение зоогуруса в качестве органического удобрения в защищенном грунте. *Плодородие*, 4(43), 17–18. [Chinkarev, S. M., Aksenov, A. V., Tarasov, S. I. (2008). Application of zoohumus as organic fertilizer in the protected ground. *Plodородie*, 4(43), 17–18. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-010>
59. Пендюрин, Е. А., Здорозов, В. А., Рыбина, С. Ю., Священко, А. В. (2024). Агрохимические характеристики зоокомпоста личинок насекомого Черная львинка. *Агрохимический вестник*, 3, 59–62. [Penduryn, E. A., Zdorozov, V. A., Rybina, S. Yu., Svyatshchenko, A. V. (2024). Agrochemical characteristics of zoocompost Black Soldier Fly larvae. *Agrochemical Herald*, 3, 59–62. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-3-010>
60. Abd El-Wahab, M. A., Badawy, M. Y., Abd El-Aleem, W. H., Baakeer, S. M. (2022). Studying the effect of mixtures of agricultural soil on two *Stevia* cultivars under a hydroponic system. *Journal of Medicinal Plants Studies*, 10(2), 106–111.
61. Sangaré, M., Nemat, M. R., Fortin, J. P. (2013). Beneficial effect of coconut fiber and peat on the physical quality of nursery substrates. *Acta Horticulturae*, 1013, 175–180. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1013.20>
62. Lefever, K., Laubscher, C. P., Ndakidemi, P. A., Nchu, F. (2017). Effects of pH and phosphorus concentrations on the chlorophyll responses of *Salvia chamelaeagnea* (Lamiaceae) grown in hydroponics. Chapter in a book: *Chlorophyll*, IntechOpen, 2026. <https://doi.org/10.5772/67610>
63. Kyriacou, M. C., El-Nakheel, C., Pannico, A., Graziani, G., Soteriou, G. A., Giordano, M. et al. (2020). Phenolic constitution, phytochemical and macronutrient content in three species of microgreens as modulated by natural fiber and synthetic substrates. *Antioxidants*, 9(3), Article 252. <https://doi.org/10.3390/antiox9030252>
64. Romano, N., Powell, A., Islam, S., Fischer, H., Renukdas, N., Sinha, A. K. et al. (2022). Supplementing aquaponics with black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass tea: Effects on the production and composition of sweet potato slips and sweet banana peppers. *Aquaculture*, 555, Article 758160. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738160>
65. Romano, N., Fischer, H., Powell, A., Sinha, A. K., Islam, S., Deb, U. et al. (2022). Applications of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae frass on sweetpotato slip production, mineral content and benefit-cost analysis. *Agronomy*, 12(4), Article 928. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040928>
66. Frimpong, K. A., Phares, C. A., Boateng, I., Abban-Baidoo, E., Apuri, L. (2021). One-time application of biochar influenced crop yield across three cropping cycles on tropical sandy loam soil in Ghana. *Heliyon*, 7(2), Article e06267. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06267>
67. Beeby, J., Moore, S., Taylor, L., Nderitu, S. (2020). Effects of a one-time organic fertilizer application on long-term crop and residue yields, and soil quality measurements using biointensive agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, Article 67. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2020.00067>
68. Das, N., Islam, M. S., Kashem, M. A., Osman, K. (2022). Influence of one-time application of vermicompost and npk fertilizers on the growths and mineral nutrients of Indian Spinach (*Basella alba* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(6), 2107–2121. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00810-2>

69. Wijitkosum, S., Sriburi, T., Toonsiri, P. (2025). Effect of one-time application of biochar and compost on soil and maize during five-time consecutive periods of crop cultivation. *Emerging Science Journal*, 9(1), 114–130. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2025-09-01-07>
70. Atas, M., Eruygur, N., Ucar, E., Ozyigit, Y., Turgut, K. (2018). The effects of different nitrogen doses on antioxidant and antimicrobial activity of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bert.). *Cellular and Molecular Biology*, 64(2), 39–45. <https://doi.org/10.14715/cmb/2018.64.2.8>
71. Śniegowska, J., Biesiada, A., Gasiński, A. (2024). Influence of the nitrogen fertilization on the yield, biometric characteristics and chemical composition of *Stevia rebaudiana* bertonii grown in Poland. *Molecules*, 29(8), Article 1865. <https://doi.org/10.3390/molecules29081865>
72. Tavarini, S., Sgherri, C., Ranieri, A. M., Angelini, L. G. (2015). Effect of nitrogen fertilization and harvest time on steviol glycosides, flavonoid composition, and antioxidant properties in *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(31), 7041–7050. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b02147>
73. Maniruzzaman, M., Chowdhury, M. A. H., Mohiuddin, K., Chowdhury, T. (2016). Nitrogen requirement and critical N content of stevia grown in two contrasting soils of Bangladesh. *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*, 3(1), 87–97. <https://doi.org/10.3329/ralf.v3i1.27862>
74. Debarba, R. J., Deschamps, C., Kanis, L. A., Moterle, D., Rampelotti, M. (2021). Effects of nitrogen fertilization on growth and yield of diterpene glycosides in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(1), Article e10591. <https://doi.org/10.17584/rccch.2021v15i1.10591>
75. Mahajan, M., Pal, P. K. (2022). Yield response, accumulation of bioactive ingredient and ion uptake of *Stevia rebaudiana* to different soil-moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, 264, Article 107511. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107511>
76. Tadesse, N. (2019). The response of stevia (*Stevia rebaudiana* L.) to nitrogen and phosphorus fertilizer rates at Menagesha, West Ethiopia. *International Journal of Environmental Sciences and Natural Resources*, 22(3), Article 556090. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2019.22.556090>
77. Maniruzzaman, M., Chowdhury, T., Rahman, M. A., Chowdhury, M. A. H. (2017). Phosphorus use efficiency and critical P content of stevia grown in acid and non-calcareous soils of Bangladesh. *Research in Agriculture Livestock and Fisheries*, 4(2), 55–68. <https://doi.org/10.3329/ralf.v4i2.33717>
78. Inugraha, M. D. M., Widaryanto, E. (2014). Response of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni M) to nitrogen and potassium fertilization. *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 7(10), 47–55. <https://doi.org/10.9790/2380-071014755>
79. Maniruzzaman, M., Chowdhury, T., Rahman, M. A., Chowdhury, M. A. H. (2017). Potassium requirement for leaf biomass yield and K nutrition of stevia. *Fundamental and Applied Agriculture*, 2(3), 297–302. <https://doi.org/10.5455/faa.276431>
80. Gatie, K. D., Ali, H. A., Mohsen, K. H. (2022). Effect of nitrogen and potassium application on growth, yield, and quality of stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Indian Journal of Ecology*, 49(18), 148–154.
81. Verma, P. P. S., Kumar, A., Padalia, R. C., Singh, V. R. (2020). Influence of NPK levels on growth and yield of *Stevia rebaudiana* Bertoni under hills of Uttarakhand. *Indian Journal of Natural Products and Resources (IJNPR)*, 11(1), 66–72.
82. Benhmimou, A., Ibriz, M., Douaik, A., Lage, M., Faiz, C.A., Chaouqi, S. et al. (2018). Effect of NPK fertilization on the growth, yield, quality and mineral nutrition of new sweet plant in Morocco (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *American Journal of Biology and Life Sciences*, 6(3), 36–43.
83. Eslami-Firouzabadi, A., Karimi, M., Abbasi-Surki, A., Shafeinia, A., Derikvand-Moghadam, F. (2023). Optimising the rate and stages of application of nitrogen fertilizer for stevia under greenhouse conditions. *South African Journal of Plant and Soil*, 40(1), 58–63. <https://doi.org/10.1080/02571862.2022.2137591>
84. Кузнецова, И. В. (2015). Изучения эффективности органической технологии возделывания стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni). *Известия Горского государственного аграрного университета*, 52(3), 15–20. [Kuznetsova, I. V. (2015). Studies of organic technology efficiency for stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) cultivation. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*, 52(3), 15–20. (In Russian)]
85. Warner, R.M. (2022). Influence of environmental parameters, pinching, and ethephon application on growth and branching of potted stevia. *HortScience*, 57, 81–84. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI16241-21>
86. Ермаков, Е. И., Кочетов, А. А. (1996). Особенности роста и развития растений стевии при разных световых режимах в регулируемых условиях. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, 1, 8–9. [Ermakov, E. I., Kochetov, A. A. (1996). Specificities features in growth and development of stevia plants under various light regimes in regulated conditions. *Russian Agricultural Sciences*, 22(1), 9–11. (In Russian)]
87. Sharakhane, A. (2018). An easy estimate of the PFDD for a plant illuminated with white LEDs: 1000 lx = 15 μmol/s/m². *BioRxiv*, Article 289280. <https://doi.org/10.1101/289280>
88. Romero-Figueroa, J. C., Gutiérrez-Castorena, M. del C., Peña-Valdivia, C. B., Rodríguez-Mendoza, M. de las N., Escalante-Estrada, J.A.S., Cueto-Wong, J.A. et al. (2017). Growth dynamics of Stevia cultivated in organic substrates in greenhouse. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 40(3), 341–350.
89. Ruiz-Espinoza, F. H., Murillo-Amador, B., García-Hernández, J. L., Fenech-Larios, L., Rueda-Puente, E. O., Troyo-Diéguez, E. et al. (2010). Field evaluation of the relationship between chlorophyll content in basil leaves and a portable chlorophyll meter (SPAD-502) readings. *Journal of Plant Nutrition*, 33(3), 423–438. <https://doi.org/10.1080/01904160903470463>
90. Uddling, J., Gelang-Alfredsson, J., Piikki, K., Pleijel, H. (2007). Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. *Photosynthesis Research*, 91(1), 37–46. <https://doi.org/10.1007/s11120-006-9077-5>
91. Radhamani, R., Kannan, R., Rakkiyappan, P. (2016). Leaf chlorophyll meter readings as an indicator for sugarcane yield under iron deficient typic hapluster. *Sugar Tech*, 18, 61–66. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0363-9>
92. Shibaeva, T. G., Mamaev, A. V., Sherudilo, E. G. (2024). Evaluation of a SPAD-502 plus chlorophyll meter to estimate chlorophyll content in leaves with interveinal chlorosis. *Russian Journal of Plant Physiology*, 67(4), 690–696. <https://doi.org/10.1134/S1021443720040160>
93. Zhu, J., Tremblay, N., Liang, Y. (2012). Comparing SPAD and at LEAF values for chlorophyll assessment in crop species. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(4), 645–648. <https://doi.org/10.4141/cjss2011-100>
94. Samsudin, A., Aziz, I. A. (2013). Drying of stevia leaves using laboratory and pilot scale dryers. *Journal of Tropical Agriculture and Food Science*, 41(1), 137–147.
95. Periche, A., Koutsidis, G., Escriche, I. (2013). Composition of antioxidants and amino acids in stevia leaf infusions. *Plant Foods for Human Nutrition*, 69(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s11130-013-0398-1>
96. Siddique, A. B., Mizanur Rahman, S. M., Hossain, M. A. (2016). Chemical composition of essential oil by different extraction methods and fatty acid analysis of the leaves of Stevia Rebaudiana Bertoni. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1185–S1189. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.01.004>
97. Korobko, N. V., Turko, Y. A., Shokun, V. V., Chernyak, E. N., Pokrovskii, L. M., Smetankina, O. N. et al. (2008). GC–MS investigations. II. Lipid composition of Stevia rebaudiana. *Chemistry of Natural Compounds*, 44(3), 359–360. <https://doi.org/10.1007/s10600-008-9061-8>
98. Senila, M. (2024). Recent advances in the determination of major and trace elements in plants using inductively coupled plasma optical emission spectrometry. *Molecules*, 29(13), Article 3169. <https://doi.org/10.3390/molecules29133169>
99. Yener, I. (2019). Trace element analysis in some plants species by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP–OES). *Journal of the Institute of Science and Technology*, 9(3), 1492–1502. <https://doi.org/10.21597/jist.517739>
100. Hajar, E. W. I., Sulaiman, A. Z. B., Sakinah, A. M. M. (2014). Assessment of heavy metals tolerance in leaves, stems and flowers of *Stevia Rebaudiana* plant. *Procedia Environmental Sciences*, 20, 386–393. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2014.03.049>
101. Лоскутов, С. И., Пухальский, Я. В., Воробьев, Н. И., Якубовская, А. И., Каменева, И. А., Ситнов, В. Ю. (2024). Нейросетевой анализ влияния органомикробных биопрепаратов на интенсивность массонакопительных и биохимических процессов в бархатцах. *Агрохимический вестник*, 5, 63–70. [Loskutov, S. I., Puhalsky, I. V., Vorobyov, N. I., Yakubovskaya, A. I., Kameneva, I. A., Sitnov, V. Yu. (2024). Neural network analysis of the influence of organic-microbial biopreparations on the intensity of mass accumulation and biochemical processes in marigold. *Agrochemical Herald*, 5, 63–70. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-5-011>
102. Chumthong, B., Seesamong, S., Detpiratmongkol, S. (2023). Influence of ethephon spraying on the growth and yield of Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni.). *International Journal of Agricultural Technology*, 19(3), 921–930.
103. Qiu, X.-M., Sun, Y.-Y., Ye, X.-Y., Li Z.-G. (2020). Signaling role of glutamate in plants. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 1743. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01743>
104. Liao, H.-S., Chung, Y.-H., Hsieh, M.-H. (2022). Glutamate: A multifunctional amino acid in plants. *Plant Science*, 318, Article 112238. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.112238>
105. Svetlova, N., Zhyr, L., Reichelt, M., Grabe, V., Mithöfer, A. (2024). Glutamine as sole nitrogen source prevents induction of nitrate transporter gene NRT2.4 and affects amino acid metabolism in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, 15, Article 1369543. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1369543>
106. Liao, H.-S., Lee, K.-T., Chung, Y.-H., Chen, S.-Z., Hung, Y.-J., Hsieh, M.-H. (2024). Glutamine induces lateral root initiation, stress responses, and disease resistance in Arabidopsis. *Plant Physiology*, 195(3), 2289–2308. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad144>
107. Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A.S., Pichtel, J., Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: A review. *Plant Signaling and Behavior*, 7(11), 1456–1466. <https://doi.org/10.4161/psb.21949>
108. Murakami, H., Shimbo, K., Inoue, Y., Takino, Y., Kobayashi, H. (2012). Importance of amino acid composition to improve skin collagen protein synthesis rates in UV-irradiated mice. *Amino Acids*, 42(6), 2481–2489. <https://doi.org/10.1007/s00726-011-1059-z>
109. Karna, E., Mityk, W., Wołczyński, S., Pałka, J. A. (2001). The potential mechanism for glutamine-induced collagen biosynthesis in cultured human skin fibroblasts. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 130(1), 23–32. [https://doi.org/10.1016/S1096-4959\(01\)00400-6](https://doi.org/10.1016/S1096-4959(01)00400-6)
110. Albaugh, V.L., Mukherjee, K., Barbul, A. (2017). Proline precursors and collagen synthesis: Biochemical challenges of nutrient supplementation and wound healing. *The Journal of Nutrition*, 147(11), 2011–2017. <https://doi.org/10.3945/jn.117.256404>
111. Ros, R., Muñoz-Bertomeu, J., Krueger, S. (2014). Serine in plants: Biosynthesis, metabolism, and functions. *Trends in Plant Science*, 19(9), 564–569. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.06.003>
112. Li, Y., Li, S., Du, R., Wang, J., Li, H., Xie, D. et al (2021). Isoleucine enhances plant resistance against botrytis cinerea via jasmonate signaling pathway. *Frontiers in Plant Science*, 12, Article 628328. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.628328>
113. Montes-Palmeros, M., Alvarado-Orea, I. V., Pavón-Orozco, P., García-López, E., Huerta-Heredia, A. A. (2016). Steviol glucosides production in micropropagated seedlings of *Stevia rebaudiana* elicited with methyl jasmonate. *Mexican Journal of Biotechnology*, 1(1), 113–119.
114. Moharramejad, S., Azam, A. T., Panahandeh, J., Dehghanian, Z., Ashraf, M. (2019). Effect of methyl jasmonate and salicylic acid on in vitro growth, stevioside production, and oxidative defense system in *Stevia rebaudiana*. *Sugar Tech*, 21(6), 1031–1038. <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00727-8>
115. Yu, H., Zhang, F., Wang, G., Liu, Y., Liu, D. (2013). Partial deficiency of isoleucine impairs root development and alters transcript levels of the genes involved in branched-chain amino acid and glucosinolate metabolism in Arabidopsis. *Journal of Experimental Botany*, 64(2), 599–612. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers352>
116. Rouhier, K. A., Perrett, M. E., Goldfarb, M. H., Reinhart, P. E., Wilczewski-Shirai, K. C., Raymond-Schmidt, L. et al. (2019). Isoleucine serves as a precursor for the synthesis of β-alanine in plants. *The FASEB Journal*, 33(S1), Article 486. https://doi.org/10.1096/fasebj.2019.33.1_supplement.486.10
117. Parthasarathy, A., Savka, M. A., Hudson, A. O. (2019). The synthesis and role of β-alanine in plants. *Frontiers in Plant Science*, 10, Article 921. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00921>

118. Siddique, A. B., Rahman, S. M. M., Hossain, M. A. (2016). Chemical composition of essential oil by different extraction methods and fatty acid analysis of the leaves of *Stevia rebaudiana* Bertoni. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S1185–S1189. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.01.004>
119. Oepen, K., Ozbek, H., Schuffler, A., Liermann, J. C., Thines, E., Schneider, D. (2021). Myristic acid inhibits the activity of the bacterial ABC transporter Bmr A. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(24), Article 13565. <https://doi.org/10.3390/ijms222413565>
120. Rioux, V., Pédrone, F., Legrand, P. (2011). Regulation of mammalian desaturases by myristic acid: N-terminal myristoylation and other modulations. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1811(1), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.bbalip.2010.09.005>
121. Javid, S., Ather, H., Hani, U., Siddiqua, A., Asif Ansari, S. M., Shanmugarajan, D. et al. (2023). Discovery of novel myristic acid derivatives as N-myristoyltransferase inhibitors: Design, synthesis, analysis, computational studies and antifungal activity. *Antibiotics*, 12(7), Article 1167. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12071167>
122. Chen, J., Liu, H. (2020). Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16), Article 5695. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>
123. Берзегова, А. А. (2007). Значение липидов для организма человека. *Новые технологии*, 4, 40–42. [Berzegovina, A. A. (2007). Significance of lipids for the human body. *New Technologies*, 4, 40–42. (In Russian)]
124. Simopoulos, A. P. (2002). The importance of the ratio of omega-6/omega-3 essential fatty acids. *Biomedicine and Pharmacotherapy*, 56(8), 365–379. [https://doi.org/10.1016/s0753-3322\(02\)00253-6](https://doi.org/10.1016/s0753-3322(02)00253-6)
125. Simopoulos, A. P. (1991). Omega-3 fatty acids in health and disease and in growth and development. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 54(3), 438–463. <https://doi.org/10.1093/ajcn/54.3.438>
126. Yashodhara, B. M., Umakanth, S., Pappachan, J. M., Bhat, S. K., Kamath, R., Choo, B. H. (2009). Omega-3 fatty acids: A comprehensive review of their role in health and disease. *Postgraduate Medical Journal*, 85(1000), 84–90. <https://doi.org/10.1136/pgmj.2008.073338>
127. EFSA (2017). Dietary Reference Values for nutrients: Summary report. *EFSA Supporting Publication*, 14(12), Article e15121E. <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2017.e15121>
128. WHO, FAO. (2004). Vitamin and Mineral Requirements in Human Nutrition. Geneva, 2004.
129. EFSA. (2006). Tolerable Upper Intake Levels for Vitamins and Minerals. Parma, 2006.
130. EFSA (2016). Dietary Reference Values for potassium. *EFSA Journal*, 14(10), Article e04592. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2016.4592>
131. EFSA (2013). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for manganese. *EFSA Journal*, 11(11), Article 3419. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3419>
132. Seth, K., Aery, N. C. (2014). Effect of boron on the contents of chlorophyll, carotenoid, phenol and soluble leaf protein in mung bean, *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 84(3), 715–719. <https://doi.org/10.1007/s40011-013-0293-4>
133. Singh, P., Dwivedi, P. (2019). Micronutrients zinc and boron enhance stevioside content in *Stevia rebaudiana* plants while maintaining genetic fidelity. *Industrial Crops and Products*, 140(2), Article 111646. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.1116>
134. Aghighi Shahverdi, M., Omid, H., Damalas, C. A. (2020). Foliar fertilization with micronutrients improves *Stevia rebaudiana* tolerance to salinity stress by improving root characteristics. *Brazilian Journal of Botany*, 43(1), 55–65. <https://doi.org/10.1007/s40415-020-00588-6>
135. Pushnik, J. C., Miller, G. W., Manwaring, J. H. (1984). The role of iron in higher plant chlorophyll biosynthesis, maintenance and chloroplast biogenesis. *Journal of Plant Nutrition*, 7(1–5), 733–758. <https://doi.org/10.1080/01904168409363238>
136. Lankarani, S. M. J., Karimi, J., Rezaei, A. (2024). Impact of zinc oxide nanoparticles and iron on *Stevia rebaudiana* Bertoni growth, nutrient uptake, and bioactive compounds under in vitro conditions. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 159(1), Article 18. <https://doi.org/10.1007/s11240-024-02871-w>
137. Khan, M. A., Ali, A., Mohammad, S., Ali, H., Khan, T., Mashwani, Z.-R. et al. (2020). Iron nano modulated growth and biosynthesis of steviol glycosides in *Stevia rebaudiana*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 143(1), 121–130. <https://doi.org/10.1007/s11240-020-01902-6>
138. Schmidt, S. B., Husted, S. (2019). The biochemical properties of manganese in plants. *Plants*, 8(10), Article 381. <https://doi.org/10.3390/plants8100381>
139. Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., Peiter, E. (2020). Manganese in plants: From acquisition to subcellular allocation. *Frontiers in Plant Science*, 11, Article 300. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Пухальский Ян Викторович — научный сотрудник, лаборатория промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литерный пр., 55 E-mail: puhalskyyan@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5233-3497 * автор для контактов Лоскутов Святослав Игоревич — кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией промышленных биотехнологических инноваций, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литерный пр., 55 E-mail: lislosk@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8102-2900 Воробьев Николай Иванович — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория биоразнообразия сельскохозяйственных микроорганизмов, Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, 196608, Санкт-Петербург, Пушкин-8, шоссе Подбельского, 3 E-mail: nik.ivanvorobyov@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8300-2287 Питти Хавьер Кабальеро — PhD, научный сотрудник, экспериментальная станция Серро-Пунта, Центр сельскохозяйственных инноваций, Институт сельскохозяйственных инноваций Панама (IDIAP) Здания 161 и 162 Калле Карлос Ренато Лара Сюодад-дель-Сабре Клейтон, Панама E-mail: javier.pitti@idiap.gob.pa ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0776-8795 Глушаков Руслан Иванович — доктор медицинских наук, доцент, Начальник научно-исследовательского отдела (медико-биологических исследований) НИЦ, Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова МО РФ 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6 E-mail: glushakovruslan@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0161-5977 Ситнов Вениамин Юрьевич — директор, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок 191014, Санкт-Петербург, Литерный проспект, 55 E-mail: v.sitnov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1927-1997	Yan V. Puhalsky, Researcher, Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia E-mail: puhalskyyan@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5233-3497 * corresponding author Svyatoslav I. Loskutov, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory of Industrial Biotechnological Innovations, All-Russian Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 191014, St. Petersburg, Russia E-mail: lislosk@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8102-2900 Nikolay I. Vorobyov, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Biodiversity of Agricultural Microorganisms, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology 3, Podbelsky highway, 196608, Pushkin 8, Saint-Petersburg, Russia E-mail: nik.ivanvorobyov@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8300-2287 J. Caballero Pitti, PhD, Researcher, Cerro Punta Experimental Station, Agricultural Innovation Center of Chiriquí, The Institute of Agricultural Innovation of Panama (IDIAP) Buildings 161 and 162, Calle Carlos Renato Lara, City of Knowledge Clayton, Panama E-mail: javier.pitti@idiap.gob.pa ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0776-8795 Ruslan I. Glushakov, Doctor of Medical Sciences, Docent, Head of the Research Department (Medical and Biological Research) of the Research Center, S. M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation 6, Academician Lebedev Str., St. Petersburg, 194044, Russia E-mail: glushakovruslan@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0161-5977 Veniamin Yu. Sitnov, Director, All-Russia Research Institute for Food Additives 55, Liteiny pr., 190000, St. Petersburg, Russia E-mail: v.sitnov@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1927-1997
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.