

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-31-35>
УДК 631.811.98:581.1.043

Н.Г. Синявина, А.А. Кочетов,
К.В. Егорова, В.Е. Вертебный,
Ю.В. Хомяков

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Агрофизический научно-исследовательский институт» (ФГБНУ АФИ)
195220, Россия, г. Санкт-Петербург,
Гражданский пр., д. 14
E-mail: sinad@inbox.ru

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Синявина Н.Г., Кочетов А.А., Егорова К.В., Вертебный В.Е., Хомяков Ю.В. Водный экстракт из листьев стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni) как биостимулятор роста растений в светокультуре. *Овощи России*. 2020;(6):31-35. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-31-35>

Поступила в редакцию: 05.10.2020

Принята к печати: 11.11.2020

Опубликована: 20.12.2020

Nadezhda G. Sinyavina,
Alexey A. Kochetov,
Ksenia V. Egorova,
Vitaly E. Vertebny,
Yuri V. Khomyakov

FSBSI Agrophysical Research Institute
14, Grazhdanskiy ave.,
St.-Petersburg, 195220, Russia
E-mail: sinad@inbox.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citations: Sinyavina N.G., Kochetov A.A., Egorova K.V., Vertebny V.E., Khomyakov Yu.V. 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*. 2020;(6):31-35. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-6-31-35>

Received: 05.10.2020

Accepted for publication: 11.11.2020

Accepted: 20.12.2020

Водный экстракт из листьев стевии (*Stevia rebaudiana* Bertoni) как биостимулятор роста растений в светокультуре



Резюме

Актуальность. Биостимуляторы роста растений на основе природного сырья экологически безопасны и безвредны для человека. Стевия (*Stevia rebaudiana* Bertoni) содержит дитерпеновые стевииолгликозиды, сходные по структуре и свойствам с гиббереллинами, а также ряд других ценных биологически активных соединений. Цель работы – исследовать влияние водного экстракта из листьев стевии на урожайность и качество салата листового и редиса европейского в условиях светокультуры.

Материалы и методы. Объектом исследований служили сорт салата Тайфун и редиса Ризенбуттер. Растения выращивали в светоустановках на биополигоне ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург) при освещенности 10–20 клк, температуре 22...26°C днем и 18...20°C ночью. Полив осуществляли водой, подкормку – питательным раствором Кнопа три раза в неделю. Субстрат – торф с минеральными добавками. Экстракцию из измельченных листьев стевии проводили горячей водой (80°C) в соотношении 1 г листьев: 100 мл воды в течение 90 мин. Некорневую обработку растений осуществляли двукратно разведениями исходного экстракта 1:10, 1:50 и 1:100 из расчета 0,20-0,25 мл/растение салата и 0,09-0,1 мл/растение редиса, контрольные растения обрабатывали водой. Полученные данные обрабатывали по стандартным методикам с использованием программного обеспечения Excel 2016.

Результаты. Некорневая обработка экстрактом из листьев стевии достоверно не влияла на размеры и массу корнеплодов редиса, но повысила урожайность за счет уменьшения числа застеблевавшихся растений: наблюдали достоверное их уменьшение во всех вариантах обработки (на 34-51%). При использовании разведения 1:100 на 20% повышался выход товарных корнеплодов и на 25% – урожай с кв. м. Некорневая обработка экстракта стевии повышала массу растений салата и их биологическую ценность. Достоверно увеличивалось содержание фотосинтетических пигментов, сахаров, витамина С, наблюдалась тенденция к снижению содержания нитратов. Рекомендованными к использованию для некорневой обработки могут служить разведения исходного экстракта 1:50 и 1:100. Эффект от применения экстракта из листьев стевии сходен по действию с некоторыми биостимуляторами растительного происхождения, обладающими гормоноподобными свойствами, что определяет возможность использования его в качестве безопасного стимулятора роста растений.

Ключевые слова: светокультура, экстракт из стевии, биостимулятор, урожай растений, качество

The possibility of using of an aqueous extract from stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) leaves as a biostimulant of plant growth in photoculture

Abstract

Relevance. Plant growth biostimulants based on natural raw materials are ecologically safe and harmless to humans. Stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) contains in its leaves sweet diterpene steviol glycosides, which are similar in structure and properties to gibberellins, as well as a number of other valuable biologically active compounds. Water extracts from stevia leaves are capable to accelerate growth, to increase the yield and quality of plants. However, further study and development of application technologies of the extracts for specific crops and different growing conditions are required. The purpose of this work is to investigate the effect of an aqueous extract from stevia leaves on the yield and quality of lettuce and small radish under photoculture conditions.

Materials and methods. The objects of the study were lettuce var. Typhoon and small radish var. Riesenbutter. The plants were grown in photoculture at the biopolygon of the FSBSI Agrophysical Research Institute (St. Petersburg) at an illumination of 10–20 klx, a temperature of 22–26°C (day) and 18–20°C (night). Watering was carried out with water, top-dressing was carried out with Knop's nutrient solution three times a week. Peat with mineral additives was used as a substrate. The original extract was prepared by extraction from stevia dry leaves powder with hot water (80°C) in a ratio of 1 g of leaves: 100 ml of water. Foliar treatment of plants was carried out twice at dilution of the original extract from stevia leaves 1:10, 1:50, and 1:100 (extract : water) at the rate of 0.20-0.25 ml / lettuce plant and 0.09-0.1 ml / radish plant; control plants were treated with water. The data were processed according to standard procedures using the Excel 2016 software.

Results. Foliar treatment with an extract from stevia leaves did not significantly affect the size and weight of radish root crops, but increased the yield due to a decrease in the number of bolting plants. A significant decrease of bolting was observed in all treatment options (by 34-51%). When using a dilution of 1: 100, the yield of marketable root crops increased by 20% and the yield per sq. m. – by 25%. Foliar treatment with stevia extracts increased the mass of lettuce plants, as well as their biological value. The content of photosynthetic pigments, sugars, and vitamin C significantly increased, and a tendency towards a decrease in the content of nitrates was observed. According to data, we recommend for foliar treatment are dilutions of the original extract 1:50 and 1: 100. The effect of using of an extract from stevia leaves is similar in action to some biostimulants from plants with hormone-like properties, which determines the possibility of using it as a safe plant growth stimulant.

Keywords: photoculture, stevia extract, biostimulant, crop yield, quality

Введение

Экологическая чистота и безопасность для здоровья человека являются в настоящее время одними из основных критериев при производстве и реализации сельскохозяйственной продукции в развитых странах мира. Наблюдается активный рост числа растительных фабрик («ситифермы», «вертикальные фермы»), специализирующихся на круглогодичном выращивании экологически чистой продукции (преимущественно быстрорастущие зеленные овощи, микрозелень, а также огурец, томат, некоторые ягодные культуры) в непосредственной близости к потребителю – в больших городах. При этом минимизируются сроки от уборки растений до попадания в места реализации – торговые точки, фудкорты, рестораны, школы и др., а продукция сохраняет максимальную свежесть и биологическую ценность [1]. Поскольку в крупных городах экологическая обстановка, как правило, неблагоприятна, а стоимость земли очень высока, то выращивание растений происходит в изолированных от окружающей среды помещениях на ярусных установках (иногда 10 и более ярусов) с использованием беспочвенных малообъемных технологий и различных типов гидропонных систем [1, 2]. Для обеспечения высокого качества продукции в условиях светокультуры наиболее эффективно применять нетоксичные или малотоксичные биоразлагаемые препараты, к которым относятся в том числе стимуляторы роста растений на основе природного сырья. Физиологические эффекты от применения биостимуляторов выражаются в комплексном положительном влиянии на всхожесть семян, ростовые процессы у растений, укоренение черенков, количество и размеры цветков и плодов. Также происходит улучшение качественных характеристик, прежде всего биологической ценности растительной продукции [3]. Благоприятный экономический эффект от применения биостимуляторов заключается в повышении рентабельности производства. Сырьем для биостимуляторов на растительной основе являются листья, плоды, семена, корни; часто используется водная экстракция как наиболее простой экологически безопасный метод их получения.

При поиске и создании новых эффективных стимуляторов роста растений природного происхождения большой интерес вызывает стевия – *Stevia rebaudiana* Bertoni, известная как медовая трава из-за содержащихся в ее листьях сладких диетических стевииолгликозидов (СГ), сладость которых до 300 раз выше, чем у сахарозы. Очищенные СГ, а именно стевииозид (СТ) и ребаудиозид А (РА), а также сухой лист стевии являются коммерчески значимыми продуктами. Они в больших объемах продаются на рынке пищевых добавок как низкокалорийные безопасные для здоровья человека подсластители. В сухом листе большинства культивируемых генотипов стевии обычно содержится от 5 до 15% СГ [4-6]. Стевиолгликозиды являются производными стевииола, по химической структуре сходны с гиббереллинами и синтезируются по общему с гиббереллинами метилэритритолфосфатному пути биосинтеза изопреноидов [7]. В ряде публикаций показано, что очищенные СГ в растворах в низких концентрациях обладают гиббереллиноподобным эффектом [8-11]. Также показана их роль в повышении устойчивости растений к действию различных стрессоров – засухи, низких температур, тяжелых металлов [11-13].

Помимо СГ, в листьях стевии содержится 7–20% белка, до 10% свободных аминокислот, полифенолы, эфирные масла, жирные кислоты, витамины, минеральные элементы [4], многие из которых, также, как и СГ, экстрагируются горячей водой и могут влиять на биологическую активность экстрактов. В ряде публикаций отмечается высокая антиоксидантная активность экстрактов из листьев сте-

вии, которая определяется, прежде всего, высоким содержанием в них полифенолов и флавоноидов. Более высокая биологическая активность экстрактов из стевии по сравнению с очищенными СГ отмечена в работе С.Ш. Асрандиной с соавт. (2013). Показано, что водный и водно-спиртовой экстракты в большей степени стимулировали прорастание семян и рост проростков стевии, чем растворы чистых стевииолгликозидов [14]. Наши предыдущие исследования выявили, что обработка семян и некорневая обработка растений водным экстрактом из листьев стевии способствовала ускорению роста проростков и повышению биомассы растений, а также улучшала их биохимические характеристики [15]. Продолжением работы, посвященной изучению влияния экстрактов из стевии на рост, развитие, урожай и качество растений и возможностей использования их в качестве стимуляторов роста в светокультуре, является настоящее исследование.

Цель работы – изучить влияние водного экстракта из листьев стевии на урожай и качество листовой (салат) и корнеплодной (редис) овощных культур в условиях интенсивной светокультуры.

Материалы и методы.

Объектами исследований служили растения салата листового сорта Тайфун (семена производства ООО «Сортсемовощ») и редиса европейского сорта Ризенбуттер (семена производства ООО «Группа компаний «Гавриш»). Для получения водного экстракта (маточный раствор) использовали сухой лист стевии (сушка при температуре 80 °С), собранный от образца № 3-7 (10 растений одного генотипа) из коллекции образцов стевии ФГБНУ АФИ. Образец был предварительно идентифицирован в лаборатории биохимии почвенно-растительных систем ФГБНУ АФИ по содержанию основных СГ: 9,9–12,4% СГ (СТ 7,7±0,9 и РА 3,5±0,7 %) в сухом листе. Для получения экстракта навеску тонко измельченных в ступке до состояния пудры сухих листьев массой 1,0 г помещали в колбу объемом 100 мл, добавляли 20 мл горячей воды и термостатировали в течение 30 минут при температуре 80°С с последующей фильтрацией горячего экстракта в мерную колбу через бумажный фильтр. Осадок измельченных листьев с фильтра снова переносили в колбу, экстракцию навески проводили подобным образом трехкратно для наиболее полного извлечения стевииолгликозидов, объединяя экстракты и доведя конечный объем водой до 100 мл. Общее время экстракции образца составляло 90 мин. Содержание сладких гликозидов (стевииозид и ребаудиозид А) в образце и в маточном экстракте анализировали по методике, описанной в Руководстве [16].

Редис высевали сухими семенами в пластиковые рассадные кассеты размером 53x31x7 см (28 ячеек) по два семени в ячейку с последующим прореживанием до одного растения в ячейке. Салат высевали сухими семенами на рассаду в рассадный лоток, затем на 13 сутки от посева (стадия 3–4 настоящего листа) пикировали на постоянное место в пластиковые горшки размером 7x7x6,5 см. Субстратом служил торф с минеральными добавками. Для полива использовали воду, подкормку питательным раствором Кнопа осуществляли три раза в неделю. Полив и подкормку проводили вручную. Растения выращивали на оригинальных ярусных вегетационно-облучательных светустановках на биополигоне ФГБНУ АФИ (г. Санкт-Петербург) [17] при 12-часовом фотопериоде, освещенности 15–20 клк для редиса и 10–15 клк – для салата. Источниками света служили лампы ДНаЗ-400 (для редиса) и ДНаЗ-250 (для салата) производства ООО «Рефлекс». Температуру в помещении поддерживали на уровне 22...26°С днем и 18...20°С ночью.

Некорневую обработку растений проводили с помощью помпового опрыскивателя два раза за вегетацию: редис – на 13 сутки от посева (стадия начала формирования корнеплода) и через неделю после первой обработки, салат – на 20 и 27 сутки от посева. Использовали разведения маточного экстракта водой в 10, 50 и 100 раз. Концентрация 1:50 была подобрана ранее как оптимальная для некорневой обработки салата и рассады огурца [15]. Контрольные растения обрабатывали водой. Количество экстракта для некорневой обработки составляло 0,20-0,25 мл из расчета на одно растение салата и 2,50-2,75 мл на одну кассету редиса (0,09-0,1 мл/растение), расчет производился исходя из площади, занимаемой растениями в светоустановке, с тем, чтобы общий объем экстракта соответствовал нормам внесения 250 л/га. Уборку редиса проводили на 27 сутки от посева, салата – на 33 сутки от посева. При уборке учитывали основные биометрические показатели растений. Определение биохимического состава салата осуществляли по стандартным методикам: содержание нитратов – по МУ №5048-89, сухое вещество, моно-, дисахара и сумму сахаров – по Методам [18], витамин С, хлорофилл а, b, сумму хлорофиллов, каротиноиды, антоцианы – по Руководству [19], нитраты – по МУ 5048-89 [20]. Размер оцениваемой выборки для редиса составлял 56 растений (n=2) в варианте, для салата – 24 растения (n=3) в варианте. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием пакета Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение

Некорневая обработка экстрактом из листьев стевии не оказывала достоверного влияния на массу корнеплодов редиса во всем диапазоне концентраций. Однако, отмечено достоверное уменьшение числа застеблевавшихся растений во всех вариантах обработки (на 34-51% по сравнению с контролем) (рис. 1). Также в виде тенденции наблюдалось торможение роста листьев редиса в варианте 1:10 (уменьшение высоты и диаметра розетки, длины листа и массы листьев на 10–14% по отношению к контролю), возможно, вызванное избыточно высокой концентрацией некоторых биологически активных компонентов экстракта. При этом масса корнеплодов и их товарность, а также урожай в данном варианте опыта не отличались от контроля.

Более низкие концентрации экстракта – 1:50 и 1:100 – не оказывали негативного влияния на рост листьев, в варианте 1:100 наблюдалась тенденция к увеличению количества листьев, длины листа и массы листьев (на 6-9% по отношению к контролю), при этом масса корнеплодов практически не отличалась от таковой в контроле. Экстракт листьев стевии в варианте разведения 1:100 достоверно ($P \leq 0,05$) повышал выход товарных корнеплодов редиса до 90% (в остальных вариантах опыта процент товарных корнеплодов составлял 73-76% от общего числа растений). Благодаря этому урожайность с квадратного метра в данном варианте была на 24,8% выше, чем в контрольном (достоверно при $P \leq 0,05$). В вариантах 1:10 и 1:50 урожайность корнеплодов соответствовала контролю. Средняя масса товарных корнеплодов редиса в опыте составила 12,7–13,8 г.

Некорневая обработка экстрактом стевии в виде тенденции повышала сырую массу листьев

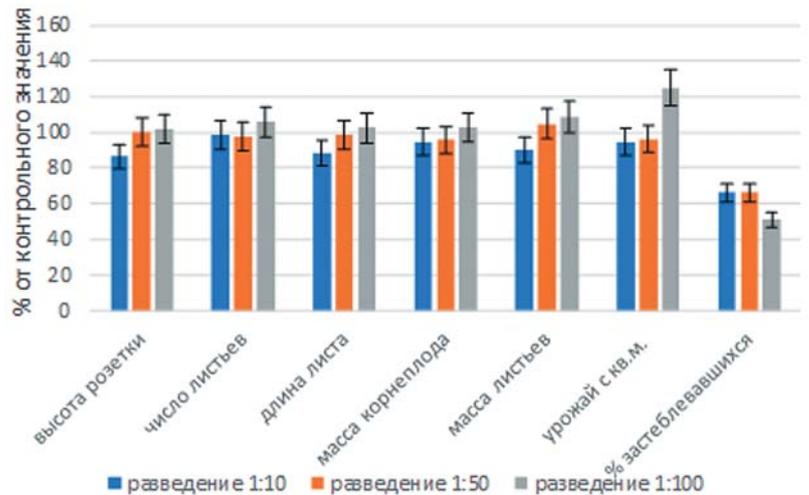


Рис. 1. Влияние некорневой обработки экстрактом стевии на рост и урожайность редиса в светокультуре
Fig. 1. Influence of foliar treatment with stevia extract on the growth and yield of small radish in photiculture

салата и урожайность с квадратного метра на 7–10%, сухую массу – на 13–17% по сравнению с контролем (достоверно при $P \leq 0,05$ для варианта 1:50). Средняя сырая масса растений салата составляла 51,5–56,7 г, урожайность – 5,1–5,7 кг/м². Наблюдалась тенденция к увеличению диаметра розетки салата во всех вариантах опыта и к увеличению количества листьев в вариантах 1:10 и 1:50, при этом размеры листьев (длина и ширина наиболее развитого листа) не отличались от такового в контроле. Также в растениях после обработки отмечено увеличение содержания сухого вещества на 3–8% по отношению к контролю (рис. 2). Содержание сухого вещества в листьях редиса под влиянием экстракта также повышалось – на 8–20% в зависимости от концентрации (достоверно при $P \leq 0,05$ для варианта 1:10, с тенденцией к увеличению при более высоких концентрациях экстракта).

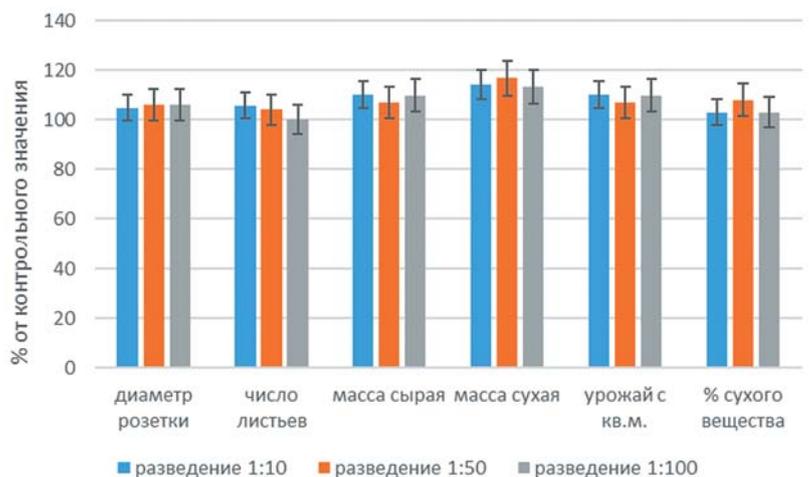


Рис. 2. Влияние некорневой обработки экстрактом стевии на рост и урожай салата в светокультуре
Fig. 2. Influence of foliar treatment with stevia extract on the growth and yield of lettuce in photiculture

Таблица. Биохимические показатели салата с. Тайфун в контроле и при некорневой обработке экстрактом из листьев стевии
 Table. Biochemical parameters of lettuce var. Typhoon – control and foliar treatment with stevia leaf extract

Вариант	Сухое вещество, %	мг/100 г сырой массы						мг/г сухой массы			Нитраты, мг/кг сырой массы
		Хл. а	Хл. b	Сумма хлорофиллов	Каротиноиды	Антоцианы	Аскорбиновая кислота	Моносахариды	Дисахариды	Сумма сахаров	
Контроль (вода)	4,91	68,29±6,83	22,49±2,47	90,78±9,08	26,32±2,36	1,17±0,18	3,84±0,42	50,92±6,62	14,74±1,92	65,66±8,53	2010±241
Разведение 1:10	5,05	70,96±8,52	24,78±2,97	95,74±9,99	27,06±2,44	2,11±0,32	4,02±0,63	53,01±7,95	36,16±5,42	89,17±13,38	1792±215
Разведение 1:50	5,32	80,35±4,82	28,69±3,16	109,04±8,72	30,49±2,43	1,32±0,20	4,84±0,53	52,72±6,85	30,07±3,91	82,79±10,76	1964±236
Разведение 1:100	5,05	76,99±6,20	26,56±3,19	103,55±9,32	28,95±2,31	1,11±0,17	4,80±0,48	53,44±8,02	34,90±5,24	88,34±13,25	1876±225

Результаты анализа биохимических показателей листьев салата представлены в таблице. Показано, что экстракт из листьев стевии оказывал влияние на все исследуемые параметры. В листьях салата в результате некорневой обработки во всех вариантах опыта повысилась содержание суммы сахаров (за счет увеличения количества дисахаридов), а также фотосинтетических пигментов (хлорофилла а, b и каротиноидов), что косвенно свидетельствует об активации деятельности фотосинтетической системы. Это подтверждается также увеличением урожайности растений, их сырой и сухой массы. Наблюдалась тенденция к повышению содержания витамина С и понижению содержания нитратов в растениях после обработки экстрактами из стевии. В варианте 1:10 наблюдалось статистически достоверное ($P \leq 0,05$) значительное (на 80% по отношению к контролю) увеличение содержания антоцианов – пигментов, участвующих в повышении устойчивости к стрессу, синтез которых может активироваться у растений в результате различного рода стрессовых воздействий [21]. Вероятной причиной увеличения количества антоцианов может служить избыточно высокая концентрация некоторых биологически активных соединений в данном разведении экстракта. Результаты негативного влияния высоких концентраций экстрактов стевии на некоторые биохимические показатели растений салата и рост надземной части у редиса требуют дополнительного изучения.

Положительный эффект от применения экстракта стевии при некорневой обработке салата и редиса в светокультуре объясняется, по-видимому, прежде всего гиббереллиноподобными свойствами СГ и заключается в увеличении ростовой активности надземной части растений. Наблюдаемые эффекты от применения экстракта стевии сходны с описанными О.И. Яхиным с соавт. (2016), в работе которых сообщается, что ряд препаратов на основе растительного сырья, в том числе водные экстракты из растений, а также биостимуляторы на основе микроорганизмов с выраженным гормоноподобным эффектом способны увеличивать концентрацию пигментов фотосинтеза в листьях, а также повышать биомассу растений [3]. Л.В. Лящева с соавт. [22] в своих экспериментах показали, что препарат на основе гиббереллина повышал урожайность корнеплодной культуры – моркови, в том числе увеличивал

выход товарных корнеплодов, что согласуется с полученными нами данными по увеличению выхода товарных корнеплодов редиса при использовании разведения 1:100. В работе [22], кроме того, показан рост содержания в корнеплодах моркови сухого вещества, сахаров, каротина и уменьшение содержания нитратов под влиянием гиббереллина. Сходные изменения в биохимическом составе растительной продукции под воздействием экстракта стевии выявлены нами для салата. Влияние других экстрагируемые из стевии соединений (белки, аминокислоты, вещества фенольной природы и др.), обладающих способностью при определенных концентрациях стимулировать рост растений и повышать качество продукции, требует дополнительного изучения. Однако можно сделать вывод о комплексном положительном действии экстракта стевии как биостимулятора на салат и редис в светокультуре, которое выражается в увеличении выхода товарной продукции и улучшении ее биохимического состава (табл.).

Выводы

Показан комплексный положительный эффект от некорневой обработки растений салата и редиса водным экстрактом из сухих листьев стевии. Он выражается в увеличении сырой и сухой массы, урожая растений, повышении качества и биологической ценности растительной продукции, а также в замедлении перехода редиса к стеблеванию в условиях светокультуры, что обеспечивает увеличение выхода товарных корнеплодов. Рекомендованными к применению для некорневой обработки растений в светокультуре могут служить разведения маточного экстракта (при содержании СГ в сухом листе в пределах 10–15%) 1:50 и 1:100. Разведение 1:10, согласно полученным нами данным, может тормозить рост надземной части и в определенной мере вызывать стресс у растений, о чем свидетельствует увеличение содержания антоцианов в листьях салата. Эффект от применения экстракта из листьев стевии сходен с таковым от применения препаратов на основе фитогормонов и некоторых биостимуляторов с гормоноподобными свойствами растительного и микробного происхождения, при этом экстракт стевии экологически безопасен и достаточно прост в получении благодаря доступности сухого листа на рынке пищевых продуктов.

Об авторах:

Надежда Георгиевна Синявина – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0378-7331>

Алексей Александрович Кочетов – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0001-7221-9886>

Ксения Вадимовна Егорова – аспирант, <https://orcid.org/0000-0001-7853-1301>

Виталий Евгеньевич Вертебный – старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-2936-5949>

Юрий Викторович Хомяков – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель лаборатории биохимии почвенно-растительных систем, <https://orcid.org/0000-0002-9149-3247>

About the authors:

Nadezhda G. Sinyavina – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-0378-7331>

Alexey A. Kochetov – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0001-7221-9886>

Ksenia V. Egorova – graduate student, <https://orcid.org/0000-0001-7853-1301>

Vitaly E. Vertebny – Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2936-5949>

Yuri V. Khomyakov – Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher, Head of the Laboratory of Biochemistry of Soil and Plant Systems, <https://orcid.org/0000-0002-9149-3247>

• Литература

- Kozai T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B.* 2013;89(10):447-461. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.447>
- Al-Kodmany Kh. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings.* 2018;(8):24. <https://doi.org/10.3390/buildings8020024>
- Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Физиологическая активность биостимуляторов и эффективность их применения. *Агрохимия.* 2016;(6):72-94.
- Lemus-Mondaca R., Vega-Galvez A., Zura-Bravo L., Ah-Hen K. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a highpotency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry.* 2012;(132):1121-1132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.140>
- Barbet-Massin C., Giuliano S., Alletto L., Daydé J., Berger M. Towards a semi-perennial culture of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni under temperate climate: effects of genotype, environment and plant age on steviol glycoside content and composition. *Genetic resources and crop evolution.* 2016;63(4):685-694. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0276-9>
- Samuel P., Ayoob K.T., Magnuson B. A., Wölwer-Rieck U. et al. Stevia leaf to stevia sweetener: exploring its science, benefits, and future potential. *The Journal of nutrition.* 2018;148(7):1186-1205. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy102>
- Brandle J.E., Telmer P.G. Steviol glycoside biosynthesis. *Phytochemistry.* 2007;68(14):1855-1863. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.02.010>
- Ullah A., Munir S., Mabkhot Y., Badshah, S. L. Bioactivity profile of the diterpene isosteviol and its derivatives. *Molecules.* 2019;24(4):678. <https://doi.org/10.3390/molecules24040678>
- Hershenhorn J., Zohar M., Crammer B. et al. Plant-growth regulators derived from the sweetener stevioside. *Plant growth regulation.* 1997;23(3):173-178. <https://doi.org/10.1023/A:1005934109197>
- De Oliveira B.H., Stiirmer J.C., de Souza Filho J.D., Ayub R.A. Plant growth regulation activity of steviol and derivatives. *Phytochemistry.* 2008;69(7):1528-1533. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.01.015>
- Огороднова У.А., Сапунова А.С., Тимофеева О.А. и др. Стевиозид обладает максимальной биологической активностью среди природных diterпенов стевии. Доклады Российской академии наук. Наука о жизни. 2020;(492):79–82. <https://doi.org/10.1134/S0012496620030060>
- Karimi M., Ahmadi A., Hashemi J. et al. The positive role of steviol glycosides in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under drought stress condition. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology.* 2016;150(6):1323-1331. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1056857>
- Mikhailov A.L., Nevmerzhtskaya J.Y., Timofeeva O.A. The antioxidant properties of stevioside under the influence of heavy metals. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 2016;7(5):1721-1727.
- Асрандина С.Ш., Кенжебаева Ш., Ташимбаева А.А. Влияние биологически активных веществ на прорастание, рост и развитие семян стевии. *Вестник КазНУ. Серия Биологическая.* 2013;3(1(59)):43-47.
- Кочетов А.А., Синявина Н.Г., Мирская Г.В. и др. Влияние водных экстрактов стевии на рост и нетто-продуктивность овощных культур. *Агрофизика.* 2017;(4):38-47.
- Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. Р.4.1.1672-03. М.: Минздрав России, 2004. 368 с.
- Панова Г.Г., Черноусов И.Н., Удалова О.Р. и др. Научно-технические основы круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции при искусственном освещении. *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук.* 2015;(4):17-21.
- Методы биохимического исследования растений / Под ред. Ермакова А.И. Л.: Агропромиздат. Ленинградское отделение, 1987. 430 с.
- Руководство по методам анализа качества и безопасности пищевых продуктов / Под ред. Тутельяна В.А., Скурихина И.М. М.: Брандес-Медицина, 1998. 342 с.
- МУ 5048-89. Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1989. 52 с.
- Макаревич А.М., Шутова А.Г., Спиридович Е.В., Решетников В.Н. Функции и свойства антоцианов растительного сырья. *Труды БГУ.* 2010;4(2):147-157.
- Лящева Л.В., Семенов А.С., Ляшев Е.А. Применение регуляторов роста при выращивании столовой моркови. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки.* 2007;2(170):31-35.

• References

- Kozai T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy, Series B.* 2013;89(10):447-461. <https://doi.org/10.2183/pjab.89.447>
- Al-Kodmany Kh. The Vertical Farm: A Review of Developments and Implications for the Vertical City. *Buildings.* 2018;(8):24. <https://doi.org/10.3390/buildings8020024>
- Yakhin O.I., Lubyaynov A.A., Yakhin I.A. The physiological activity and efficiency of application of biostimulants. *Agrochemistry.* 2016;(6):72-94. (In Russ.)
- Lemus-Mondaca R., Vega-Galvez A., Zura-Bravo L., Ah-Hen K. *Stevia rebaudiana* Bertoni, source of a highpotency natural sweetener: A comprehensive review on the biochemical, nutritional and functional aspects. *Food Chemistry.* 2012;(132):1121-1132. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.140>
- Barbet-Massin C., Giuliano S., Alletto L., Daydé J., Berger M. Towards a semi-perennial culture of *Stevia rebaudiana* (Bertoni) Bertoni under temperate climate: effects of genotype, environment and plant age on steviol glycoside content and composition. *Genetic resources and crop evolution.* 2016;63(4):685-694. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0276-9>
- Samuel P., Ayoob K.T., Magnuson B.A., Wölwer-Rieck U. et al. Stevia leaf to stevia sweetener: exploring its science, benefits, and future potential. *The Journal of nutrition.* 2018;148(7):1186-1205. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy102>
- Brandle J.E., Telmer P.G. Steviol glycoside biosynthesis. *Phytochemistry.* 2007;68(14):1855-1863. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.02.010>
- Ullah A., Munir S., Mabkhot Y., Badshah, S.L. Bioactivity profile of the diterpene isosteviol and its derivatives. *Molecules.* 2019;24(4):678. <https://doi.org/10.3390/molecules24040678>
- Hershenhorn J., Zohar M., Crammer B. et al. Plant-growth regulators derived from the sweetener stevioside. *Plant growth regulation.* 1997;23(3):173-178. <https://doi.org/10.1023/A:1005934109197>
- De Oliveira B.H., Stiirmer J.C., de Souza Filho J.D., Ayub R.A. Plant growth regulation activity of steviol and derivatives. *Phytochemistry.* 2008;69(7):1528-1533. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2008.01.015>
- Ogorodnova U.A., Sapunova A.S., Timofeeva O.A. et al. Stevioside has the maximum biological activity among natural Stevia diterpenes. *Doklady Biological Sciences.* 2020;(492):79–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0012496620030060>
- Karimi M., Ahmadi A., Hashemi J. et al. The positive role of steviol glycosides in stevia (*Stevia rebaudiana* Bertoni) under drought stress condition. *Plant Biosystems-An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology.* 2016;150(6):1323-1331. <https://doi.org/10.1080/11263504.2015.1056857>
- Mikhailov A.L., Nevmerzhtskaya J.Y., Timofeeva O.A. The antioxidant properties of stevioside under the influence of heavy metals. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences.* 2016;7(5):1721-1727.
- Асрандина С.Ш., Кенжебаева Ш., Ташимбаева А.А. Influence of biologically active substances on germination, growth and development of seeds *Stevia rebaudiana* Bertoni. *KazNU Bulletin. Biology series.* 2013;3.1(59):43-47. (In Russ.)
- Kochetov A.A., Sinyavina N.G., Mirskaya G.V. et al. The effect of water extracts of stevia on the growth and net-productivity of vegetable crops. *Agrophysica.* 2017;(4):38-47. (In Russ.)
- Manual on methods for quality control and safety of dietary supplements. R.4.1.1672-03. M.: Ministry of Health of Russia, 2004. 368 p. (In Russ.)
- Panova G.G., Chernousov I.N., Udalova O.R. et al. Scientific basis of all-the-year-round obtaining high yields of plant production with high-quality under artificial light. *Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences.* 2015;(4):17-21. (In Russ.)
- Methods of biochemical studies of plants. Ed. Ermakov A.I. L.: Agropromizdat, 1987. 430 p. (In Russ.)
- Guideline of methods of analyzing the quality and safety of food products / Ed. Tutelyan V.A., Skurikhin I.M. M.: Brandes-Medicine, 1998. 342 p. (In Russ.)
- MU 5048-89. Guidelines for the determination of nitrates and nitrites in crop production. M.: Ts/NAO, 1989. 52 p. (In Russ.)
- Makarevich A.M., Shutova A.G., Spiridovich E.V., Reshetnikov V.N. Functions and properties of anthocyanins of plant raw materials. *Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology.* 2009;4(2):147-157. (In Russ.)
- Lyashcheva L.V., Semenov A.S., Lyashchev E.A. Use of growth regulators when growing garden carrot. *Siberian herald of agricultural science.* 2007;2(170):31-35. (In Russ.)