






Разработка подходов биофортификации микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа






Людмила Г. Елисеева	¹	eliseeva.lg@rea.ru	 0000-0003-2715-9989
Дарья В. Сими́на	¹	daria.simina@mail.ru	 0000-0003-3543-7125
Юрий И. Сидоренко	¹	sidorenko.yi@rea.ru	 0000-0002-3207-9599
Петр И. Токарев	¹	tokarev.pi@rea.ru	 0009-0003-2380-4220
Татьяна А. Сантурян	¹	santuryan.ta@rea.ru	 0000-0001-9487-9797

¹ Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия

Аннотация. В настоящее время во всем мире остро стоит проблема распространения неинфекционных алиментарных заболеваний, вызванных использованием несбалансированных рационов питания с дефицитом эссенциальных микронутриентов. Минздравом России установлен элементный статус населения России в структуре которого установлен дефицит ряда макро- и микроэлементов. Особую озабоченность вызывают микроэлементозы, обусловленные дисбалансом йода, селена и цинка. Более чем у 40% населения России установлен дефицит цинка, до 45-50% испытывают недостаток йода и 65-70% - селена. В «Стратегии повышения качества пищевой продукции в РФ до 2030 года» указывается, что одной из причин недостаточной функциональности пищевой продукции является практически полное отсутствие в Российской Федерации производства пищевых биологически активных ингредиентов и субстанций. В стратегии предусмотрена необходимость создания условий для производства отечественной продукции нового поколения с заданными характеристиками качества. Одним из наиболее перспективных продуктов питания является микрозелень. Микрозелень считается «суперпродуктом» за счет повышенного содержания в ней широкого спектра биологически активных веществ, в том числе макро- и микроэлементов. В статье представлены подходы к биофортификации микрозелени при выращивании в условия фитотронов городского типа. Отражена технологические подходы обогащения микрозелени в процессе вегетации растворами цинка, селена и йода, позволяющие получить продукт, удовлетворяющий суточную потребность человека в селене на 41% и 49% для мужчин и женщин соответственно, в йоде на 50% и в цинке на 49% (в порции 40 г). Указанные показатели содержания микро- и макроэлементов достигаются при комплексной обработке водным раствором солей цинка и селена на 7, 10 и 12 сутки после начала вегетации и дополнительной обработке водным раствором йодистого калия на 12 сутки.

Ключевые слова: микрозелень, технология обогащения, эссенциальные микроэлементы, фитотрон, обогащенные продукты питания.

Development of approaches for biofortification of microgreens when growing in an urban type phytotron

Lyudmila G. Eliseeva	¹	eliseeva.lg@rea.ru	 0000-0003-2715-9989
Daria V. Simina	¹	daria.simina@mail.ru	 0000-0003-3543-7125
Yuri I. Sidorenko	¹	sidorenko.yi@rea.ru	 0000-0002-3207-9599
Petr I. Tokarev	¹	tokarev.pi@rea.ru	 0009-0003-2380-4220
Tatyana A. Santuryan	¹	santuryan.ta@rea.ru	 0000-0001-9487-9797

¹ Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny pereulok, 36, Moscow, Russia, 115054

Abstract. Currently, the world is facing an acute problem of non-infectious alimentary diseases caused by the use of unbalanced diets with a deficiency of essential micronutrients. The Ministry of Health of the Russian Federation has established the elemental status of the population of Russia, in the structure of which a deficiency of a number of macro- and microelements has been established. Of particular concern are microelementoses caused by an imbalance of iodine, selenium and zinc. More than 40% of the population of Russia has a zinc deficiency, up to 45-50% experience a deficiency of iodine and 65-70% - selenium. These elements help strengthen the immune system, increase the adaptive capacity of the body, normalize metabolic activity, synthesize hormones and epigenetic regulation of gene activity in the genome. The "Strategy for Improving the Quality of Food Products in the Russian Federation until 2030" indicates that one of the reasons for the insufficient functionality of food products is the almost complete absence of production of food biologically active ingredients and substances in the Russian Federation. The strategy provides for the need to create conditions for the production of a new generation of domestic products with specified quality characteristics. One of the most promising food products, gaining popularity all over the world, is microgreens. Microgreens are considered a "superfood" due to the increased content of a wide range of biologically active substances, including macro- and microelements. The article presents approaches to the biofortification of microgreens when growing in urban phytotrons. The technological approaches to enriching microgreens during vegetation with zinc, selenium and iodine solutions are reflected, allowing to obtain a product that satisfies the daily human need for selenium by 41% and 49% for men and women, respectively, for iodine by 50% and for zinc by 49% (in a 40 g serving). The specified indicators of the content of micro- and macroelements are achieved with complex treatment with an aqueous solution of zinc and selenium salts on the 7th, 10th and 12th days after the start of vegetation and additional treatment with an aqueous solution of potassium iodide on the 12th day.

Keywords: microgreens, biofortification technology, essential microelements, phytotron, fortified food products.

Для цитирования

Елисеева Л.Г., Сими́на Д.В., Сидоренко Ю.И., Токарев П.И., Сантурян Т.А. Разработка подходов биофортификации микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 86. № 4. С. 84–92. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-84-92

For citation

Eliseeva L.G., Simina D.V., Sidorenko Yu.I., Tokarev P.I., Santuryan T.A. Development of approaches for biofortification of microgreens when growing in an urban type phytotron. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 86. no. 4. pp. 84–92. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-84-92

Введение

Ежегодно во всем мире проводятся исследования в области достаточности, доступности и полноты ассортимента безопасных, качественных и здоровых продуктов питания. Обеспокоенность российских ученых этим вопросом вызвана несоответствием пищевого статуса и структуры питания населения Российской Федерации требованиям и нормам физиологической потребности организма человека в микро- и макронутриентах, таких как пищевые волокна, витамины, антиоксиданты и минеральные вещества. Для решения данной проблемы в России в 2021 году были сформированы Стратегические национальные приоритеты Российской Федерации, обуславливающие необходимость производства функциональных продуктов питания для поддержания пищевого статуса населения страны. В 2024 году в Указе Президента РФ от 18 июня 2024 г. № 529 в качестве критической технологии была сформулирована необходимость разработки новых технологий персонализированного, лечебного и функционального питания. Согласно данным Всемирной Организации Здравоохранения, у 15–50% взрослых и 61–65% детей наблюдается нехватка витаминов группы В, у 3–10% взрослых и 28–35% детей в рационе питания диагностирован дефицит витаминов С и Е, а также у 31% взрослого населения установлен недостаток витамина D. Среди эссенциальных минеральных элементов наиболее дефицитными у населения России считаются селен, йод и цинк [1-2].

Селен (Se) необходим для правильного функционирования многих физиологических процессов, таких как метаболизм гормонов щитовидной железы, деятельности иммунной системы и антиоксидантной защиты [3].

Одной из наиболее распространенных проблем, связанных с недостаточностью питания, является дефицит йода, что обусловлено низким его содержанием в продуктах питания. В настоящее время около двух миллиардов человек в мире, независимо от экономических, политических и социальных условий, страдают от недостатка йода [4]. Йод выполняет важные функции в обмене веществ, он необходим для синтеза гормонов щитовидной железы, которые играют решающую роль в защите нервной системы, дифференцировке и росте мозга, а также развитии плода.

Цинк входит в состав ряда ферментов и участвует в управлении активностью многих физиологических процессов, включая регуляцию генов. Его дефицит может вызвать задержку роста, нарушение иммунных функций и даже стать причиной смерти, особенно у детей и беременных женщин. Почти у 17,1% населения мира

установлен недостаток цинка. Дефицит цинка более распространен в развивающихся странах, где он затрагивает до 40% детей и женщин [5].

Эссенциальные микро- и макроэлементы поступают в организм с пищей, однако их содержание во многих видах продуктов постоянно снижается. Ухудшение пищевого поведения населения приводят к нарушению метаболической активности, снижению резистентности, активности формирования адаптивного иммунитета, стрессоустойчивости, умственной активности, работоспособности населения, увеличению заболеваемости алиментарными заболеваниями в т. ч. онкологическими. По данным ВОЗ 35–40% онкологических заболеваний обусловлены нарушением адекватного поступления фитонутриентов.

Для решения данной проблемы большое внимание уделяется производству обогащенных продуктов питания, покрывающих суточную потребность организма в нутриентах на 15%-50%. Важным направлением при решении проблемы нормализации структуры питания является изучение возможности и эффективности обогащения свежих овощей и ягод микронутриентами в процессе вегетации.

В рационе здорового питания большое внимание уделяется зеленым культурам, отмечен устойчивый рост спроса потребителей на микрозелень, которая относится к «суперпродуктам» по содержанию биологически активных веществ.

Согласно результатам исследований, проведенных в США в университете Мериленд в 2012 году, микрозелень превосходит традиционные растения по содержанию аскорбиновой кислоты (витамин С), α - и γ -токоферола (группа витамина Е) и филлохинона (витамин К1), имеет изысканный вкус, текстуру, свежий аромат и разнообразную палитру цветов [1, 2, 14, 19]. Микрозелень может обеспечить более высокое ежедневное потребление большинства минеральных веществ по сравнению с традиционными культурами. Было доказано, что все исследуемые виды микрозелени превосходят в 3–15 раз свои традиционные аналоги по содержанию фенольных соединений, витаминов, эссенциальных микро- и макронутриентов и по показателям общей антиоксидантной активности [13, 18, 19]. Также микрозелень содержит более высокое количество Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Mo.

В таких популярных видах микрозелени как брокколи, руккола, базилик, редис, кале и кресс-салат содержится (в 100г): витамина А в пределах 60–180 мкг; 0,05–0,08 мг витамина В1; 0,1–0,11 мг В2; 0,4–0,85 мг В5; 0,13–0,2 мг В6; 30–73 мкг В9; 16–214 мг витамина С; 0,3–1,4 мг витамина Е; 39–109 мкг витамина К, 0,5–2,9 мг/100г железа, 0,4–1,5 мг/кг йода, 0,7–9,7 мг/кг меди,

0,29–0,77 мг/кг цинка, 0,0013–0,0044 мг/кг селена, а также 1–5,4 мг/100г каротиноидов, 1,3–8,6 мг/г хлорофилла, 0,1–0,7 мг/г фенольных соединений, установлена высокая антиоксидантная активность [1, 2, 13, 14, 20]. Производство и потребление микрозелени может быть экономически эффективным решением для получения ценных источников функциональных пищевых ингредиентов для удовлетворения ежедневных потребностей в биологически активных веществах и в качестве сырья для обогащения широкого спектра пищевых продуктов.

Для обогащения рациона питания эссенциальными микроэлементами, в том числе цинком, селеном и йодом перспективным направлением может являться обогащение микрозелени данными элементами в процессе вегетации.

Исследования, связанные с обогащением плодов, ягод, овощей и микрозелени, проводились в США, странах Европы и в России. Проведенные предварительные исследования подтвердили целесообразность разработки технологии обогащения микрозелени минеральными веществами [3–6]. Полученные результаты продемонстрировали, что раствор Na_2SeO_3 в концентрации 10, 20 и 40 мкмоль/л является эффективным при обработке микрозелени, а его концентрации 100, 200 мкмоль и выше являются токсичными для растений. Было отмечено, что микрозелень может быть обработана растворами йода (KI) в широком диапазоне концентраций от 4 до 250 мг/л [4,6]. Микрозелень, обработанная раствором цинка (ZnSO_4) в широком диапазоне концентраций от 5 мг/л до 1 г/л также характеризовалась высоким содержанием цинка по сравнению с контрольными образцами [5]. Из полученных результатов можно сделать вывод, что применение растворов солей исследуемых минеральных элементов является эффективными для обогащения микрозелени. Однако, в проведенных исследованиях наблюдается большой разброс значений концентраций применяемых растворов минеральных веществ, и не установлены оптимальные технологии и сроки обработки для обогащения микрозелени в процессе вегетации.

Цель работы – разработка оптимальной технологии биофортификации микрозелени с целью повышения ее нутриентного статуса за счет повышения содержания эссенциальных минеральных веществ цинка, селена и йода при выращивании в фитотроне городского типа.

Материалы и методы

Вегетация микрозелени осуществлялась в фитотроне городского типа ИСП-0.01, разработанного АНО «Институт стратегий развития».

Конструкционные решения позволяют моделировать в фитотроне климатические режимы, интенсивность и спектр освещения, использовать гидропонную систему для питания растений. В работе представлены результаты, демонстрирующие эффективность накопления селена, цинка и йода в вегетирующей микрозелени на примере микрозелени салата листового (*Lactuca sativa L.*), сорт «Азарт».

Семена исследуемой культуры предварительно замачивали в дистиллированной воде в течение 1–2 часов равномерно распределяли на субстрате с плотностью 10 шт./см². В качестве субстрата использовались предварительно смоченные в дистиллированной воде подложки из джута, которые помещали в предварительно продезинфицированные лотки. Выращивание осуществляли в фитотроне, в котором создавались оптимальные условия для выращивания микрозелени. Общая продолжительность выращивания составила от 11 до 16 суток в зависимости от вида культуры. В процессе вегетационного периода ежедневно определяли биометрические показатели – массу (10 растений), скорость роста, площадь листовой поверхности. В конце вегетационного периода проводили определение содержания хлорофилла и каротиноидов по методу Лихтеналера и Велбурна [7], содержание фенольных веществ – по методу Фолина-Чокальтеу [8], общую антиоксидантную активность на приборе Эксперт – 006 [9].

Массовую концентрацию йода в микрозелени определяли по МУ 31–07/04 методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА [10].

Массовую концентрацию цинка в микрозелени определяли по МУ 31–04/04 методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА [11].

Массовую концентрацию селена в микрозелени определяли по МУ 31–21/07 методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА [12].

На первом этапе была разработана оптимальная технология обработки семян перед вегетацией и растений микрозелени в процессе выращивания для обеспечения эффективного обогащения исследуемыми минеральными веществами при условии сохранения физиологической активности, потребительских свойств и сохранения индивидуальных органолептических показателей качества. Было выявлено, что наиболее эффективным способом обогащения растений микрозелени является предварительное замачивание семян в оптимальных концентрациях раствора сернокислого цинка и селенита натрия с последующей внекорневой обработкой раствором селена и цинка на 7 сутки выращивания.

На 10 и 12 сутки проводили повторную внекорневую обработку раствором сульфата цинка. При обработке раствором йодистого калия рекомендуется проводить однократную обработку на 12 день после начала вегетации. В предварительных исследованиях были определены оптимальные концентрации используемых растворов, которые составили 50 мкмоль/л для раствора селена (Na₂SeO₃), 250 мг/л для раствора йода (KI) и 1 г/л для раствора цинка (ZnSO₄ • H₂O). В последствии было выявлено, что для оптимизации технологии обогащения микрозелени возможно проведение обработки объединенным препаратом раствора селена и цинка. Данный способ обогащения сокращает время обработки, трудозатраты, при этом эффективность обогащения практически не снижается.

Все исследования проводились не менее чем в 3-кратной повторности. Статистическая обработка результатов проводилась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2016.

Результаты и обсуждение

При выращивании в фитотронах закрытого типа большое влияние имеют используемые световые комбинации, интенсивность освещения и продолжительность светового дня [20]. Нами было установлено, что фотосинтетическая часть спектра (PPFD), составляющая 134,1 мкмоль/м²с, сформированная комбинацией синих и красных

светодиодных ламп в комплексе с люминесцентными лампами давала оптимальный спектр освещения и использовалась при выращивании микрозелени в фитотроне городского типа [15]. Продолжительность светового дня в фитотроне составляла 16 часов, а температурный режим – 24–260

С в дневное время и 17–200 °С в ночное время. Для активизации метаболических процессов усвоения минеральных веществ дополнительно использовался препарат органической природы «Супер микориза» в концентрации 3%. Препарат «Супер микориза» (производства ООО «Биохайтек») содержит более 2500 высокоактивных эндогенных микоризных спор (*Glomus intraradices*, *Glomus etunicatum*, *Glomus mosseae*, *Glomus aggregatum*) в 1 грамме веса и позволяет более эффективно накапливать исследуемые элементы в процессе вегетации.

На рисунке 1 представлено влияние способов обработки: предварительное замачивание семян, внекорневая подкормка, комплексная обработка, включающая предварительную обработку семян и последующую внекорневую обработку на накопление селена в микрозелени салата, а также различная кратность обработки микрозелени раствором селенита натрия (1, 2 и 3 раза). В качестве контроля использовались семена, обработанные дистиллированной водой.

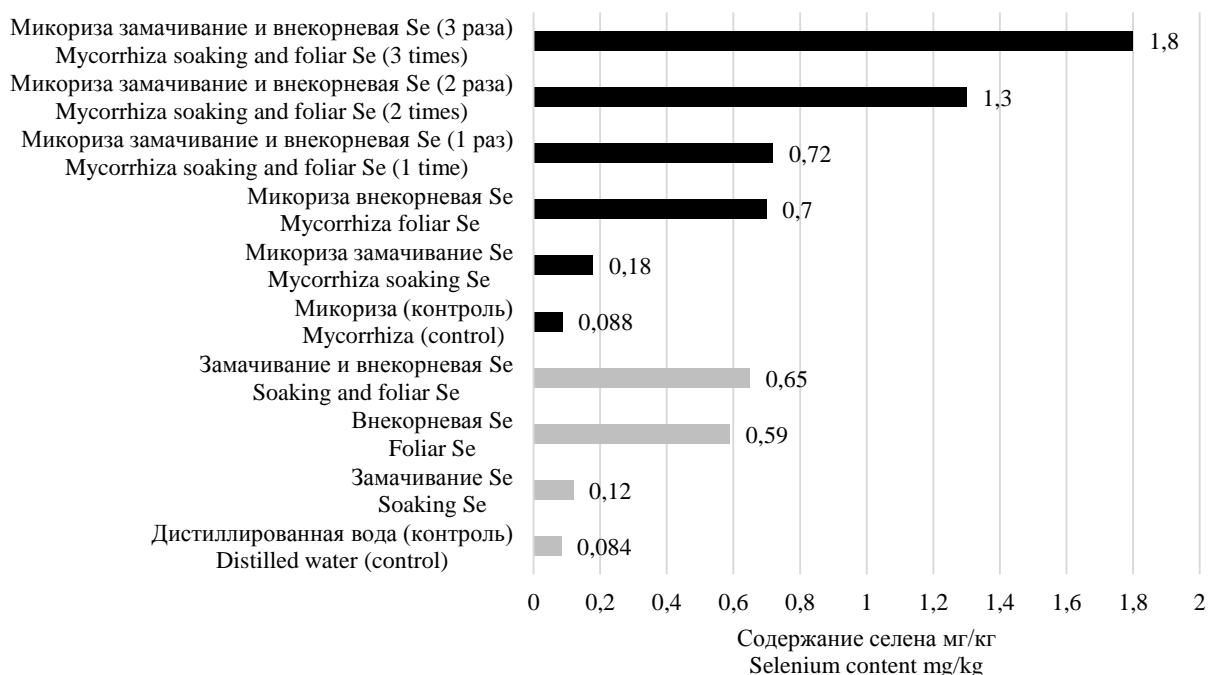


Рисунок 1. Влияние способов обработки раствором селена на концентрацию селена в микрозелени салата

Figure 1. The influence of methods of treatment with selenium solution on the concentration of selenium in lettuce microgreens

Как видно из представленных результатов, максимальное накопление селена (1,8 мг/кг) в микрозелени получено при обработке семян и вегетирующих растений комплексным препаратом микоризы и раствором селенита натрия. Также отмечалось повышение содержания селена в исследуемой микрозелени при различной кратности обработок. При однократной обработке раствором селена с применением препарата «Супер микориза» его содержание в микрозелени составило 0,72 мг/кг, при двукратной обработке – 1,3 мг/кг, что на 81% больше однократной обработки, при троекратной – 1,8 мг/кг, что на 150% больше однократной обработки. На основе полученных данных можно сделать вывод, что накопление селена в обрабатываемой микрозелени зависит от кратности и способов применяемых обработок, что позволяет формировать различные схемы биофортификации микрозелени в зависимости от целей и задач.

Аналогичные результаты динамики накопления были получены при обработке микрозелени

комплексными препаратами цинка сернокислого и микоризы (содержание цинка в микрозелени составило от 98 до 158 мг/кг) и йодистого калия (содержание йода в микрозелени составило от 0,6 до 2 до мг/кг). Было установлено, что обработка растворами селена, цинка и йода не оказывает отрицательного влияния на накопление фотосинтетических пигментов (хлорофилла и каротиноидов), фенольных соединений, витамина С и общей антиоксидантной активности в исследуемых образцах микрозелени, а также не влияет на морфогенез растений.

Для оптимизации технологии биофортификации микрозелени была доказана возможность использования комплексного препарата, содержащего соли цинка и селена (1:1). В результате применения комплексной обработки удалось сократить количество технологических процессов и получить микрозелень, содержащую селен, цинк и йод в количестве до 180 мкг / 100г, 155 мг/кг и 200 мкг / 100г соответственно (рисунок 2).

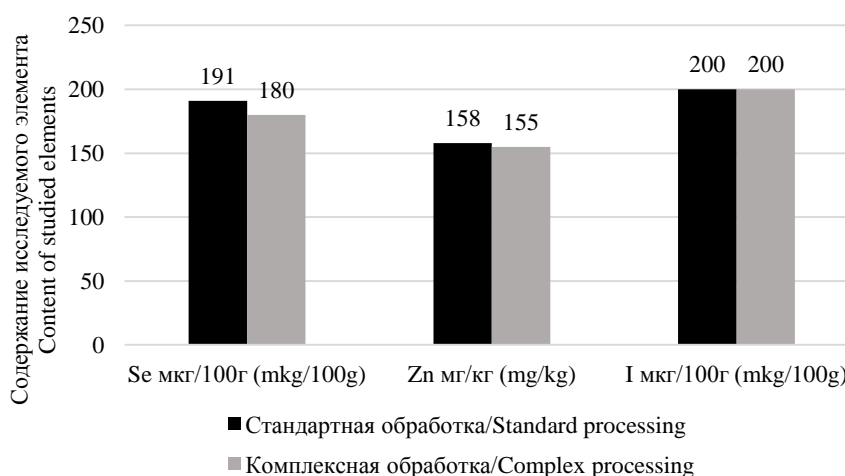


Рисунок 2. Сравнение эффективности комплексного применения растворов Se, Zn и I при обогащении микрозелени
Figure 2. Comparison of the efficiency of the complex application of Se, Zn and I solutions in enriching microgreen

Для определения спроса молодежи на микрозелень и заинтересованности в ее использовании в рационе питания был проведен опрос молодежи в количестве 50 человек в возрасте 18–23 лет и было установлено, что более 85% молодых людей заинтересованы в использовании продуктов для здорового питания и готовы употреблять микрозелень в своем рационе. На вопрос «Какое количество микрозелени в Вы готовы употреблять в течение суток?» большинство респондентов указали объем микрозелени от 20 до 40 грамм, что соответствует наиболее часто встречающемуся объему вегетирующей микрозелени в упаковке, реализуемой в торговых сетях. Указанное количество микрозелени позволит

повысить содержание витаминов, фенольных соединений и фотосинтетических пигментов в структуре питания молодых людей. По информации, полученной от респондентов, было установлено, что микрозелень наиболее часто используется ими в рецептурах салатов и блюд с микрозеленью (соусы, смузи, сэндвичи), в которых продукт используется в количестве 30–50 грамм. Учитывая количество микрозелени, которое молодые люди готовы использовать в своем рационе питания, нами исследовалась порция микрозелени, составляющая 40 грамм.

На рисунке 3 представлено уровень удовлетворения суточной потребности в селене, цинке и йоде при употреблении 40 г микрозелени.

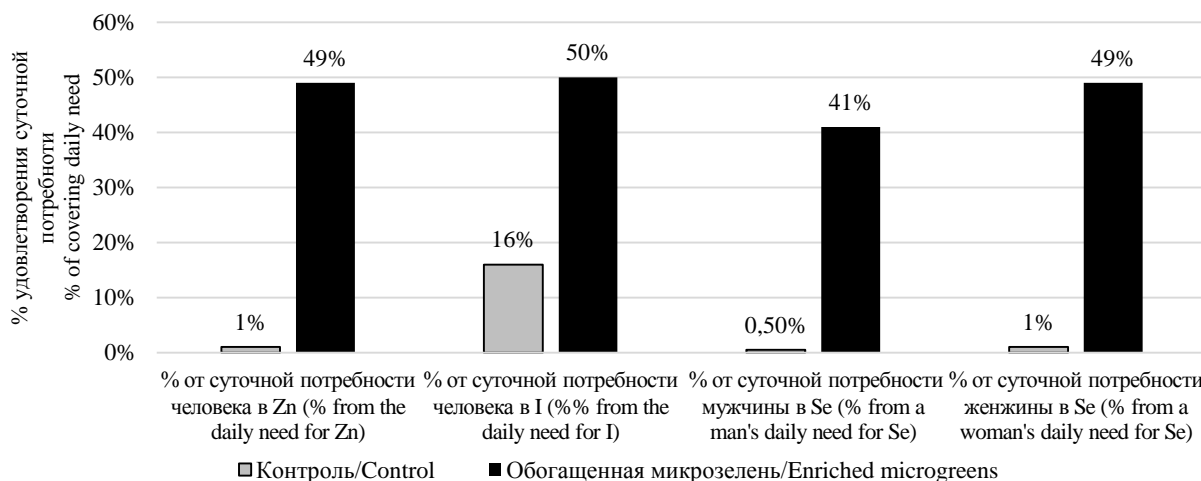


Рисунок 3. Удовлетворение суточной потребности в селене, цинке и йоде при употреблении 40 г микрозелени
 Figure 3. Satisfying the daily requirement for selenium, zinc and iodine with 40 grams of microgreens

На основе результатов можно сделать вывод, что полученная микрозелень согласно ГОСТ Р 52349–2005 может позиционироваться как функциональный пищевой ингредиент для обогащения рациона питания или производства обогащенных пищевых продуктов с содержанием селена, цинка и йода до 30–50%. На основании проанализированных литературных данных и экспериментального исследования влияния диапазона концентраций солей препаратов Na_2SeO_3 , $\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и KI на продуктивность, потребительские свойства и уровень обогащения микрозелени, были установлены оптимальные концентрации, рекомендованные для осуществления биофортификации микрозелени при выращивании в фитотроне городского типа. Было установлено, что использование растворов солей йода (KI) в концентрации 250 мг/л, селена (Na_2SeO_3) в концентрации 50 мкмоль/л и цинка ($\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) в концентрации 1 г/л, являются оптимальными для получения обогащенной микрозелени, которая может быть рекомендована в качестве источника функциональных пищевых ингредиентов.

В результате проведенных исследований было выявлено, что наибольшую концентрацию цинка и селена удастся получить, обрабатывая семена путем замачивания, а затем трехкратной внекорневой обработкой путем опрыскивания микрозелени на 7, 10 и 12 дни после начала вегетации с применением препарата «Супер микориза». Высокого уровня концентрации йода в микрозелени удастся добиться путем разовой обработки на 12 день после начала вегетации. Также важно отметить, что комплексное применение растворов селена и цинка позволяет сохранить высокий уровень обогащения и сократить количество дополнительных технологических операций, что может играть важную роль при широкомасштабном производстве обогащенной микрозелени.

На основании опроса молодых людей в возрасте 18–23 лет и результатов проведенных исследований была установлена рекомендуемая порция разового приема микрозелени, обогащенной цинком, селеном и йодом, которая составила 30–40 граммов. Данное количество микрозелени является рекомендуемым для употребления в течение дня и позволяет удовлетворить суточную потребность организма в йоде на 50%, в селене на 41% для мужчин и на 49% для женщин, и цинке на 49%.

Полученная микрозелень может также использоваться в качестве функционального ингредиента при производстве обогащенных и специализированных пищевых продуктов. В процессе исследований были разработаны пищевые продукты, обогащенные разными культурами микрозелени с повышенным содержанием исследуемых компонентов – смузи и соус. Было установлено, что 100 г. данных продуктов способны удовлетворить суточную потребность организма в селене, цинке и йоде на 20–30%.

Заключение

В результате проведенных исследований была оптимизирована биотехнология производства обогащенной микрозелени в условиях фитотрона городского типа. Микрозелень, полученная по данной технологии позволяет удовлетворить суточную физиологическую потребность человека в селене на 41–49% для мужчин и женщин соответственно, в йоде на 50%, в цинке – на 49% при употреблении порции 30–40 грамм.

Управляя технологическими параметрами и концентрацией вносимых солей можно регулировать содержание исследуемых элементов в вегетирующей микрозелени и достигать удовлетворения суточной потребности в селене, цинке и йоде до 130%,

что позволяет в широком диапазоне осуществлять корректировку содержания этих минеральных веществ в рационе питания.

Обогащенная микрозелень является перспективным функциональным ингредиентом для производства обогащенных и специализированных продуктов питания для повышения

пищевого статуса населения и обеспечения населения качественными, безопасными и функциональными продуктами питания. В работе были получены опытные образцы смузи и соусов с микрозеленью, содержание цинка, селена и йода в которых составило от 20% до 30% от суточной потребности человека в данных элементах.

Литература

- Xiao Z., Lester, G.E., Park, E., Saftner, R.A. et al. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. V. 110. P. 140-148.
- Yadav L, Koley T, Tripathi. Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: comparison at mature and microgreen stages using chemometric. *Agric. Res.* 2019 V. 8. P. 165–175.
- Mahya T., Benjamin W., Sigfredo F., Alexis P. et al. Biofortification of kale microgreens with selenate-selenium using two delivery methods: Selenium-rich soilless medium and foliar application // *Scientia Horticulturae*. 2024. V. 323. P. 112522. doi:10.1016/j.scienta.2023.112522
- Michele C., Luigi F., Christophe E., Armando Z. et al. Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine // *Scientia Horticulturae*. 2023. V. 320. P. 112229.
- Pradip P., Erin C., Misha K., Joshua L. et al. Zinc biofortification via fertigation using alternative zinc sources and concentration levels in pea, radish, and sunflower microgreens // *Scientia Horticulturae*. 2024. V. 331. P. 113098.
- Блинникова О.М., Елисеева Л.Г. Методология обогащения плодов и ягод йодом для обеспечения рационального питания населения // *Пищевая промышленность*. 2015. № 9. С. 42–44.
- Ashenafi, E. L., Nyman, M. C., Shelley, J. T., Mattson, N. S. Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems. *Food Chemistry Advances*. 2023. V. 2. P. 100178.
- Di-Bella M, Niklas A, Toscano S. Morphometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in Brassica oleracea L. novel foods: sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy*. 2020. V. 10 (6). P. 782.
- Винникова А. Р. Кулонометрический метод анализа и его применение // *Актуальные вопросы фармацевтических и естественных наук. Всероссийская науч.-практ. конф. студентов и молодых ученых с международным участием*. Иркутск, 2022. С. 134-136.
- МУК 31–07/04 «Томьаналит» МВИ содержания йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки, лекарственных препаратах, витаминах, БАДах, биологических объектах (моча) методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. URL: <https://tomanalyt.ru/methods/mu-31-07-04-opredelenie-yoda-v-pishchevoy-produktsii/>
- МУК 31–04/04 «Томьаналит» МВИ массовой концентрации цинка, кадмия, свинца и меди в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки методом инверсионной вольт-амперометрии на анализаторах типа ТА. URL: <https://tomanalyt.ru/methods/mu-31-04-04-opredelenie-tsinka-kadmija-svintsa-i-medi-v-pishchevoy-produktsii/>
- МУК 31–21/07 «Томьаналит» МВИ массовой концентрации селена в пищевых продуктах, продовольственном сырье, БАДах методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА. URL: <https://tomanalyt.ru/methods/mu-31-21-07-opredelenie-se-v-pishchevoy-produktsii-i-napitkakh/>
- Xiao, Z., Codling, E.E., Luo, Y., Nou, X. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Com-position and Analysis*. 2016. V. 49 P. 87–93.
- Marchioni, I., Martinelli, M., Ascrizzi, R., Gabbriellini, C. et al. Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the Brassicaceae family. *Foods*. 2021. V. 10(2). P. 427.
- Елисеева Л.Г., Симинова Д.В., Зеленков В.Н., Карпачев В.В. Формирование потребительских свойств нуга абиссинского при выращивании в фитотроне городского типа // *Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве. X Международная науч.-практ. конф.* Киров: 2023. С. 57–62.
- Islam M.Z., Park B.J., Kang H.M., Lee Y.T. Influence of Selenium biofortification on the bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract // *Food Chem*. 2020. V. 309 P. 125763. doi: 10.1016/j.foodchem.2019.125763
- Choe U., Yu L.L., Wang T.T.Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. V. 66. №44. P. 11519–11530.
- Kyriacou M., El-Nakhelb C., Grazianic G., Pannicob A. et al. Functional quality in novel food sources: Geno-typic variation in the nutritional and phytochemical composition of thirteen micro-greens species // *Food Chemistry*. 2019. V.277. P. 107-118.
- Pant Y., Lingwan M., Masakapalli S.K. Metabolic, biochemical, mineral and fatty acid profiles of edible Brassicaceae microgreens establish them as promising functional food // *Food Chemistry Advances*. 2023. doi: 10.1101/2023.05.17.541100
- Sharma A., Hazarika M., Heisnam P., Pandey H. et al. Factors affecting production, nutrient translocation mechanisms, and LED emitted light in growth of microgreen plants in soilless culture // *ACS Agricultural Science & Technology*. 2023. V. 3. №. 9. P. 701-719.


References

- Xiao Z. et al. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens // *Postharvest Biology and Technology*. 2015. Vol. 110. pp. 140-148.
- Yadav L, Koley T, Tripathi A (2019). Antioxidant potentiality and mineral content of summer season leafy greens: comparison at mature and microgreen stages using chemometric. *Agric. Res.* Vol. 8. pp. 165–175.


- 3 Mahya T., Benjamin W., Sigfredo F., Alexis P. et al. Biofortification of kale microgreens with selenate-selenium using two delivery methods: Selenium-rich soilless medium and foliar application // *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 323. pp. 112522. doi: 10.1016/j.scienta.2023.112522
- 4 Michele C., Luigi F., Christophe E., Armando Z. et al. Iodine biofortification of four microgreens species and its implications for mineral composition and potential contribution to the recommended dietary intake of iodine // *Scientia Horticulturae*. 2023. Vol. 320. pp. 112229.
- 5 Pradip P., Erin C., Misha K., Joshua L et al. Zinc biofortification via fertigation using alternative zinc sources and concentration levels in pea, radish, and sunflower microgreens // *Scientia Horticulturae*. 2024. Vol. 331. pp. 113098.
- 6 Blinnikova O.M., Eliseeva L.G. Methodology for enriching fruits and berries with iodine to ensure rational nutrition of the population // *Food Industry*. 2015. no. 9. pp. 42–44. (in Russian).
- 7 Ashenafi, E. L., Nyman, M. C., Shelley, J. T., Mattson, N. S. Spectral properties and stability of selected carotenoid and chlorophyll compounds in different solvent systems. *Food Chemistry Advances*. 2023. Vol. 2. pp. 100178.
- 8 Di-Bella M, Niklas A, Toscano S. Mor-phometric characteristics, polyphenols and ascorbic acid variation in Brassica oleracea L. novel foods: sprouts, microgreens and baby leaves. *Agronomy*. 2020. Vol. 10(6). pp. 782.
- 9 Vinnikova A. R. Coulometric method of analysis and its application // Current issues of pharmaceutical and natural sciences. All-Russian Scientific and Practical conference of students and young scientists with international participation. Irkutsk, 2022. pp. 134-136. (In Russian).
- 10 MG 31–07/04 “Tomanalit” MP of iodine content in food products, food raw materials, feed and their processing products, medications, vitamins, dietary supplements, biological objects (urine) by stripping voltammetry on TA type analyzers (In Russian).
- 11 MG 31–04/04 “Tomanalit” MP mass concentration of zinc, cadmium, lead and copper in food products, food raw materials, feed and their processed products by stripping volt-amperometry on TA type analyzers. (In Russian).
- 12 MG 31–21/07 “Tomanalit” MP mass concentration of selenium in food products, food raw materials, BA-Dakh by stripping voltammetry on TA type analyzers. (In Russian).
- 13 Xiao, Z., Codling, E.E., Luo, Y., Nou, X. et al. Microgreens of Brassicaceae: Mineral composition and content of 30 varieties. *Journal of Food Com-position and Analysis*. 2016. Vol. 49. pp. 87–93.
- 14 Marchioni, I., Martinielli, M., Ascrizzi, R., Gabbriellini, C. et al. Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the Brassicaceae family. *Foods*. 2021. Vol. 10(2) pp. 427.
- 15 Eliseeva L.G., Simina D.V., Zelenkov V.N., Karpachev V.V. Formation of consumer properties of Abyssinian nougat when grown in an urban phytotron. Methods and technologies in plant breeding and crop production. Kirov. 2023. pp. 57–62. (In Russian).
- 16 Islam M.Z., Park B.J., Kang H.M., Lee Y.T. Influence of Selenium biofortification on the bioactive compounds and antioxidant activity of wheat microgreen extract // *Food Chem*. 2020. Vol. 309. pp. 125763. doi:10.1016/j.foodchem.2019
- 17 Choe U., Yu L.L., Wang T.T.Y. The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2018. Vol. 66. no. 44. pp. 11519–11530.
- 18 Kyriacoua M., El-Nakhelb C., Grazianic G., Pannicob A. et al. Functional quality in novel food sources: Geno-typic variation in the nutritional and phytochemical composition of thirteen micro-greens species // *Food Chemistry*. 2019. Vol. 277. pp. 107-118.
- 19 Pant Y., Lingwan M., Masakapalli S.K. Metabolic, biochemical, mineral and fatty ac-id profiles of edible Brassicaceae microgreens establish them as promising functional food // *Food Chemistry Advances*. 2023. doi: 10.1101/2023.05.17.541100
- 20 Sharma A. Hazarika M., Heisnam P., Pandey H. et al. Factors affecting production, nutrient translocation mechanisms, and LED emitted light in growth of microgreen plants in soilless culture // *ACS Agricultural Science & Technology*. 2023. Vol. 3. no. 9. pp. 701-719.

Сведения об авторах


Людмила Г. Елисеева д.т.н., профессор, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, eliseeva.lg@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2715-9989>


Дарья В. Сими́на аспирант, младший научный сотрудник, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, daria.simina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3543-7125>

Юрий И. Сидоренко д.т.н., профессор, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, sidorenko.yi@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3207-9599>

Петр И. Токарев д.б.н., заведующий кафедрой, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, tokarev.pi@rea.ru


 <https://orcid.org/0009-0003-2380-4220>

Information about authors


Lyudmila G. Eliseeva Dr Sci. (Technical.), professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, eliseeva.lg@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-2715-9989>


Daria V. Simina Dr. Sci. (Chem.), professor, Место работы (кафедра / отдел / лаборатория), Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, daria.simina@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-3543-7125>


Yuri I. Sidorenko Dr Sci. (Technical.), professor, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, sidorenko.yi@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-3207-9599>

Petr I. Tokarev Dr Sci. (Biol.), Head of Department, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane. 36, Moscow, Russia, 115054, tokarev.pi@rea.ru

 <https://orcid.org/0009-0003-2380-4220>

Татьяна А. Сантуриян ведущий специалист, ассистент, кафедра товарной экспертизы и таможенного дела, Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Стремянный пер., д. 36, 115054, г. Москва, Россия, santuryan.ta@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9487-9797>

Вклад авторов

Людмила Г. Елисеева разработка концепции исследования, контроль над выполнением исследований, обзор литературы, написание и корректировка рукописи

Дарья В. Симина обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

Юрий И. Сидоренко участие в разработке технологии


Петр И. Токарев участие в разработке технологии

Татьяна А. Сантуриян обзор литературы, помощь в оформлении рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Tatyana A. Santuryan Assistant, Leading Specialist, Department of Commodity Expertise and Customs Affairs, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, Russia, 115054, santuryan.ta@rea.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9487-9797>

Contribution

Lyudmila G. Eliseeva development of the research concept, supervision of research, literature review, writing and editing of the manuscript

Daria V. Simina review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

Yuri I. Sidorenko participation in the development of the technology

Petr I. Tokarev participation in the development of the technology

Tatyana A. Santuryan literature review, assistance in the design of the manuscript

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 23/10/2024	После редакции 11/11/2024	Принята в печать 29/11/2024
Received 23/10/2024	Accepted in revised 11/11/2024	Accepted 29/11/2024