

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

УДК 635.342:581.192.04:628.9.04(476)
<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-3-199-209>

Поступила в редакцию 26.07.2022
Received 26.07.2022

**А. М. Пашкевич¹, А. И. Чайковский¹, Ж. А. Рупасова², Н. Б. Криницкая²,
В. С. Задала², Т. В. Шпитальная², Л. В. Гончарова², Ю. В. Трофимов³, А. М. Бегматов⁴**

¹*Институт овощеводства, Национальная академия наук Беларуси, Самохваловичи, Республика Беларусь*

²*Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

³*Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

⁴*Термезский государственный университет, Термез, Республика Узбекистан*

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРОЗЕЛЕНИ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ

Аннотация. В последние годы в Беларуси наметилась тенденция к существенному увеличению спроса на продукцию микрозелени овощных культур, в том числе капусты белокочанной, как источника широкого спектра полезных веществ. Вместе с этим значимый аспект при выращивании микрозелени в условиях закрытой контролируемой среды – освещение, которое для высших растений одновременно является сигналом к росту и развитию и источником энергии. Растения адаптируются к условиям световой среды не только изменениями морфофизиологических показателей, но и перестройкой своего светособирающего комплекса. Одним из наиболее важных параметров режима освещения является величина плотности потока фотонов – интенсивность освещения, которая значительно влияет как на рост биомассы, так и накопление вторичных метаболитов. Приведены результаты сравнительного исследования влияния интенсивности светодиодного освещения (50, 100, 150, 200, 250 мкм/м²·с) на содержание в образцах микрозелени капусты белокочанной хлорофиллов, каротиноидов и β-каротина, сухих, дубильных и пектиновых веществ, свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, растворимых сахаров, основных групп биофлавоноидов – собственно антоцианов, лейкоантоцианов, катехинов, флавонолов и показатель сахарокислотного индекса. Установлено, что лидирующее положение в эксперименте по интегральному уровню питательной витаминной ценности данной продукции, превосходявшему таковой в контроле в 1,4 раза, принадлежало варианту опыта с минимальной интенсивностью светодиодного освещения – 50 мкм/м²·с, тогда как для варианта с интенсивностью освещения 150 мкм/м²·с было показано отставание в этом плане от контроля в 1,1 раза и, соответственно, от более успешных вариантов опыта в 1,2–1,6 раза, что позволило считать его неэффективным. Новизна исследований заключается в том, что впервые в условиях республики проведено комплексное биохимическое изучение образцов капусты белокочанной, выращенной при различной интенсивности светодиодного освещения, что дало возможность рекомендовать данную овощную культуру для использования при промышленном производстве микрозелени.

Ключевые слова: интенсивность светодиодного освещения, капуста белокочанная, микрозелень, биохимический состав, органические кислоты, углеводы, биофлавоноиды, питательная и витаминная ценность продукции

Для цитирования: Влияние интенсивности светодиодного освещения на биохимический состав микрозелени капусты белокочанной / А. М. Пашкевич [и др.] // Вест. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. – 2023. – Т. 61, № 3. – С. 199–209. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-3-199-209>

**Hanna M. Pashkevich¹, Andrey I. Tchaikovsky¹, Zhanna A. Rupasova²,
Natalya B. Krinitckaya², Victoria S. Zadala², Tamara V. Shpitalnaya², Ludmila V. Goncharova²,
Yuri V. Trofimov³, Abdusamat M. Begmatov⁴**

¹*Institute of Vegetable Growing, National Academy of Sciences of Belarus, Samokhvalovichy, Republic of Belarus*

²*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

³*Center of LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

⁴*Termez State University, Termez, Republic of Uzbekistan*

LED LIGHTING INTENSITY EFFECT ON BIOCHEMICAL COMPOSITION OF MICROGREENS OF WHITE CABBAGE

Abstract. In recent years, there has been a trend in Belarus towards a significant increase in demand for the products of microgreens of vegetable crops, including white cabbage, as a source of a wide range of useful substances. At the same time, an important aspect when growing microgreens in a closed controlled environment is lighting, which is both a signal for

growth and development and a source of energy for higher plants. Plants adapt to the conditions of the light environment not only via changes in morphophysiological parameters, but also via restructuring their light-collecting complex. One of the most important parameters of the lighting mode is the photon flux density – the intensity of illumination, which significantly affects both the growth of biomass and the accumulation of secondary metabolites. The results of a comparative study of the influence of the intensity of LED lighting are presented (50, 100, 150, 200, 250 $\mu\text{m}^2/\text{s}$) for the content of chlorophylls, carotenoids and β -carotene, dry, tannin and pectin substances, free organic, ascorbic and hydroxy acids in the samples of white cabbage microgreens, soluble sugars, the main groups of bioflavonoids – mainly anthocyanins, leucoanthocyanins, catechins, flavonols and the indicator of the sugar acid index. It has been determined that the leading position in the experiment in terms of the integral level of nutritional vitamin value of this product, exceeding that in the control by 1.4 times, belonged to the variant of the experiment with a minimum intensity of LED lighting of 50 $\mu\text{m}^2/\text{s}$, whereas for the variant with an intensity of lighting of 150 $\mu\text{m}^2/\text{s}$, a lag in this regard from the control by 1.1 times and, accordingly, from more successful variants of the experiment by 1.2–1.6 times, which allowed to consider it ineffective. The novelty of the research lies in the fact that for the first time in the conditions of the republic, a comprehensive biochemical study of samples of white cabbage grown at different intensities of LED lighting was carried out, which made it possible to recommend this vegetable crop for industrial production of micro-greenery.

Keywords: intensity of LED lighting, white cabbage, microgreens, biochemical composition, organic acids, carbohydrates, bioflavonoids, nutritional and vitamin value of products

For citation: Pashkevich A. M., Tchaikovsky A. I., Rupasova Zh. A., Krinitskaya N. B., Zadalya V. S., Shpitalnaya T. V., Goncharova L. V., Trofimov Yu. V., Begmatov A. M. Led lighting intensity effect on biochemical composition of microgreens of white cabbage. *Vesti Natsyyanal'noy akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2023, vol. 61, no. 3, pp. 199–209 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-3-199-209>

Введение. В последние годы в странах ближнего и дальнего зарубежья особой популярностью пользуется продукция микрозелени (microgreens) значительного количества растений, выращенная из семян овощей, пряно-ароматических трав или зерновых культур [1]. В зависимости от вида растений и условий выращивания микрозелень срезают на уровне поверхности субстрата, то есть у основания гипокотилей, после появления первой пары настоящих листьев, когда семядоли полностью расширены, что происходит, как правило, спустя 7–20 дней после прорастания семян [2]. Обычно микрозелень потребляется в сыром виде. При этом сохраняются все ее полезные свойства, благодаря чему этот вид органической продукции относится к категории функциональных продуктов, обогащающих организм человека витаминами и другими питательными веществами и способствующих повышению его иммунитета [3]. На это указывают результаты исследований зарубежных ученых, обнаруживших присутствие в микрозелени ряда растений значительного количества фитонутриентов (аскорбиновая кислота, β -каротин, α -токоферол и филлохинон), а также минеральных элементов (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se и Mo) при более низком содержании нитратов по сравнению со зрелыми листьями, плодами и семенами [4].

В настоящее время у населения республики наблюдается существенное увеличение спроса на продукцию микрозелени овощных культур, особенно капусты белокочанной, как источника широкого спектра полезных веществ. В ходе многочисленных исследований [2–10] выявлены явные преимущества продукции микрозелени капусты белокочанной по большинству показателей биохимического состава относительно зрелого, кочанного овоща, что и предопределило наш выбор данной культуры в качестве модельного объекта в настоящих исследованиях.

Важнейшую роль при выращивании микрозелени в контролируемых условиях защищенного грунта играет световой режим, одной из основных характеристик которого является плотность потока фотонов, определяющая интенсивность излучения [11]. При этом ответная реакция растительного организма при адаптации к условиям световой среды проявляется не только в изменениях морфофизиологических показателей, но и в перестройке его метаболизма, находящей свое отражение в соответствующей трансформации биохимического состава. С целью установления влияния интенсивности светодиодного освещения на его основные характеристики в микрозелени капусты белокочанной, в 2022 г. в РУП «Институт овощеводства» был проведен производственный эксперимент с использованием ряда режимов светодиодного освещения при выращивании данной продукции.

Наиболее важными параметрами режима освещения являются: фотопериод (продолжительность освещения), спектральный состав света, а также величина плотности потока фотонов (интенсивность освещения) и характер излучения. Значительное влияние на развитие растений ока-

зывает интенсивность освещения, определяющая темпы их роста и накопления вторичных метаболитов [12–14]. В связи с этим было исследовано влияние данного фактора на содержание в микрорзелени капусты белокочанной ряда биологически активных соединений – каротиноидов, некоторых органических кислот, углеводов и биофлавоноидов, обладающих Р-витаминным действием на организм человека, что и явилось целью настоящей работы.

Материалы и методы исследований. В качестве объектов исследований были привлечены образцы микрорзелени капусты белокочанной (гибрид *Аватар F1*). Семена отбирали из коллекции генетических ресурсов овощных культур РУП «Институт овощеводства». Во избежание использования низкокондиционного посевного материала предварительно определяли всхожесть и энергию прорастания отобранных семян лабораторным методом, показавшим, что они находятся на уровне 97–98 %. Посевной материал промывали и выдерживали в течение 12 ч в отстоянной воде с температурой +22 °С, рН 7,7 и содержанием хлора не более 1,1 мг/л. Перед посевом семена дезинфицировали 3%-м раствором перекиси водорода и повторно промывали, после чего их высевали сплошным методом из расчета 600 шт. на делянку. Полив производили отстоянной водопроводной водой через сутки из расчета 60 мл на делянку.

Культивирование микрорзелени капусты осуществляли в полипластовых поддонах объемом 750 мл, предварительно стерилизованных 96%-м этиловым спиртом. В качестве грунта использовали заранее подготовленный торфяной субстрат, проавтоклавированный в паровом автоклаве ВК-75-01 в течение 20 мин при температуре (132 ± 2) °С и давлении 0,1 МПа. Закладку опыта проводили в 3-кратной повторности с тремя циклами выращивания растений. При рендомизированном (случайном) расположении опытных контейнеров размер каждого из них составлял 237 см² (17,9 × 13,2 см), а площадь варианта опыта – 0,4 м². Выращивание опытных растений осуществляли в условиях светокультуры с использованием светодиода (FLORALED 300/2/4 производства РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси») при интенсивности освещения 50, 100, 150, 200 и 250 мкм/м²·с. В качестве контроля было принято значение интенсивности освещения, равное 200 мкм/м²·с, рекомендуемое Институтом «Гипронисельпром» Министерства сельского хозяйства Российской Федерации в качестве оптимального для зеленных и рассады ряда овощных культур.

Исследование биохимического состава образцов микрорзелени капусты белокочанной осуществляли в лаборатории химии растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси по широкому спектру показателей, относящихся к разным классам действующих веществ. В свежих усредненных пробах растительного материала определяли содержание сухих веществ – по ГОСТ 28561-90¹; аскорбиновой кислоты (витамин С) – стандартным индофенольным методом; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом [15]. В высушенных при температуре 60 °С пробах растительного материала определяли содержание: гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом [16]; растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом²; пектиновых веществ – кальций-пектатным методом [15]; суммы антоциановых пигментов – по методу Т. Суэйн и В. Е. Хиллис [17], с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан [18]; собственно антоцианов и суммы катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом [19, 15]; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом [15]; дубильных веществ (ганинов) – титрометрическим методом Левенталя [20].

Все измерения и определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований с использованием программы Microsoft Office Excel 2007. Выявление самого эффективного варианта опыта, обеспечившего наиболее

¹ Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ и влаги: ГОСТ 28561-90. Взамен ГОСТ 8756.2-82, ГОСТ 13340.3-77; введ. 1.07.1991. Москва, ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 2011. С. 76–84.

² Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы: учеб. пособие / сост.: М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. Пермь: [б. и.], 2012. 148 с.

высокий интегральный уровень питательной и витаминной ценности микрозелени капусты белокочанной, осуществляли с использованием авторского способа ранжирования объектов по совокупности анализируемых признаков, защищенного патентом¹.

Результаты и их обсуждение. Повариантное исследование биохимического состава микрозелени капусты белокочанной показало существенную зависимость его количественных характеристик от интенсивности светодиодного освещения. При этом содержание сухих веществ в исследуемых образцах варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне 4,1–6,0 % при изменении содержания в сухой массе хлорофиллов, каротиноидов и β -каротина – в интервалах 524,3–835,8, 141,2–202,9 и 39,8–63,8 мг/100 г соответственно, свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот – в пределах 5,53–7,28 %, 1212,2–1346,1 и 2459,7–2920,2 мг/100 г соответственно, растворимых сахаров – от 6,83 до 11,50 % при соответствующих межвариантных различиях сахарокислотного индекса, определяемого соотношением количеств растворимых сахаров и титруемых кислот и варьировавшегося в интервале 1,06–1,62. При этом сравнительно невысокие параметры накопления пектиновых и дубильных веществ в сухой массе микрозелени капусты изменялись в диапазонах 1,43–2,25 % и 1,75–2,58 % соответственно.

Особый интерес в данной работе представляло исследование ответной реакции наиболее ценного в физиологическом плане биофлавоноидного (Р-витаминного) комплекса микрозелени капусты на разную интенсивность светодиодного освещения. Установлено, что общее содержание данных соединений, являющихся природными антиоксидантами, в ее сухой массе было достаточно высоким и варьировалось в эксперименте в диапазоне 4251,2–4791,1 мг/100 г при суммарном количестве антоциановых пигментов 455,0–525,8 мг/100 г, представленных преимущественно собственно антоцианами, содержание которых составляло 303,3–435,5 мг/100 г, тогда как таковое лейкоантоцианов было существенно ниже и не превышало 90,2–151,7 мг/100 г. При этом интервал изменения содержания флавонолов, лидирующих в составе Р-витаминного комплекса микрозелени капусты, соответствовал области значений 3209,5–3769,9 мг/100 г сухой массы, а содержания катехинов – 505,6–556,1 мг/100 г.

Значительная ширина приведенных диапазонов варьирования обозначенных признаков свидетельствовала об их существенной зависимости от исследуемого фактора. Вместе с тем влияние последнего на характеристики биохимического состава микрозелени капусты оказалось весьма неоднозначным (табл. 1). Заметим, что в ряде случаев прослеживалась явная общность тенденций в ориентации расхождений опытных вариантов с контролем в содержании анализируемых соединений при заметных межвариантных различиях степени их выразительности. Так, при минимальной в эксперименте интенсивности светодиодного освещения (50 мкМ/м²·с) наблюдалось усиление на 7–59 % по сравнению с контролем (200 мкМ/м²·с) накопления хлорофиллов, β -каротина и каротиноидов, свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, собственно антоцианов и дубильных веществ при снижении на 31–35 % содержания сухих и пектиновых веществ, растворимых сахаров и показателя сахарокислотного индекса. При этом не выявлено достоверных различий с контролем в содержании лейкоантоцианов, катехинов и флавонолов, а следовательно, и в общем количестве биофлавоноидов.

В варианте опыта с интенсивностью освещения 100 мкМ/м²·с отмечено сохранение установленного в предыдущем варианте превышения на 7–60 % контрольного уровня содержания β -каротина и каротиноидов, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот при отставании от него на 14–27 % накопления растворимых сахаров, пектиновых веществ и показателя сахарокислотного индекса. Но, в отличие от варианта с интенсивностью освещения 50 мкМ/м²·с, здесь наблюдалось усиление на 9 и 45 % по сравнению с контролем биосинтеза флавонолов и лейкоантоцианов, что, несмотря на ослабление такового катехинов и собственно антоцианов на 7 и 13 %, способствовало повышению на 6 % общего выхода биофлавоноидов, сопровождавшемуся ослаблением на 7–18 % накопления сухих и дубильных веществ, а также титруемых кислот при отсутствии достоверных различий с ним в содержании хлорофиллов.

¹ Способ ранжирования таксонов растения: пат. ВУ 17648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев. Опубл. 08.07.2013.

Таблица 1. Относительные различия с контролем вариантов опыта с разной интенсивностью светодиодного освещения по биохимическим характеристикам микрозелени капусты белокочанной, %

Table 1. Relative differences with the control of experimental variants with different intensity of LED lighting according to the biochemical characteristics of white cabbage microgreens, %

Показатель	50 мкм/м ² ·с	100 мкм/м ² ·с	150 мкм/м ² ·с	250 мкм/м ² ·с
Сухие вещества	-31,7	-18,3	-13,3	-10,0
Хлорофиллы	+16,3	–	-27,1	-18,4
Каротиноиды	+23,8	+11,8	-13,9	-8,4
β-каротин	+58,5	+60,3	+13,8	+18,6
Свободные органические кислоты	+6,8	-8,7	-6,3	+20,1
Аскорбиновая кислота	+9,8	+6,5	+2,4	–
Гидроксикоричные кислоты	+18,7	+15,6	+8,3	+5,9
Растворимые сахара	-30,5	-27,1	-15,3	+17,0
Сахарокислотный индекс	-34,6	-19,8	-9,3	–
Пектиновые вещества	-33,2	-13,6	-7,0	+5,1
Собственно антоцианы	+24,4	-13,3	+6,7	–
Лейкоантоцианы	–	+44,5	+35,5	–
Сумма антоциановых пигментов	+15,6	–	+13,3	–
Катехины	–	-7,3	-9,1	–
Флавонолы	–	+8,5	+16,4	–
Сумма биофлавоноидов	–	+5,5	+12,7	–
Дубильные вещества	+12,7	-14,4	-21,0	-23,6

Примечание. Прочерк означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$.

Note. A dash indicates that there are no statistically significant differences available with control according to Student's *t*-test at $p < 0.05$.

Увеличение же интенсивности светодиодного освещения до 150 мкм/м²·с обуславливало хотя и менее выраженное, чем в предыдущем случае, но все же достоверное превышение на 3–14 % контрольного уровня содержания β-каротина, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот. Наряду с этим, в данном варианте опыта, как и в двух предыдущих с меньшей интенсивностью воздействия исследуемого фактора, наблюдалось ослабление на 7–15 % по сравнению с контролем накопления в микрозелени капусты растворимых сахаров и пектиновых веществ при снижении показателя сахарокислотного индекса. Вместе с тем, как и при интенсивности освещения 100 мкм/м²·с, здесь имело место не только снижение на 9–21 % по сравнению с контролем содержания катехинов, сухих и дубильных веществ, но и увеличение на 16 и 36 % такового флавонолов и лейкоантоцианов, что в сочетании с активизацией биосинтеза собственно антоцианов обусловило увеличение общего выхода Р-витаминов на 13 %.

Наименее выраженными изменениями биохимического состава микрозелени капусты под действием светодиодного освещения по сравнению с контролем характеризовался вариант опыта с его интенсивностью 250 мкм/м²·с (см. табл. 1). Это подтверждалось отсутствием достоверных различий с ним по значительному набору исследуемых характеристик – содержанию аскорбиновой кислоты, всех компонентов биофлавоноидного комплекса и показателю сахарокислотного индекса. Вместе с тем была отмечена активизация накопления на 5–20 % относительно контроля содержания β-каротина, свободных органических и гидроксикоричных кислот, растворимых сахаров и пектиновых веществ на фоне снижения на 8–24 % содержания сухих и дубильных веществ, а также хлорофиллов и каротиноидов.

Нетрудно убедиться, что последовательное ослабление интенсивности светодиодного освещения до минимального уровня (50 мкм/м²·с) по сравнению с контролем (200 мкм/м²·с) способствовало преимущественному обогащению микрозелени капусты фотосинтезирующими пигментами – хлорофиллами и каротиноидами, свободными органическими, аскорбиновой и гидроксико-

ричными кислотами, антоциановыми пигментами и дубильными веществами на фоне ее обеднения растворимыми сахарами, сухими и пектиновыми веществами при снижении показателя сахарокислотного индекса. Данные изменения в биохимическом составе исследуемой продукции сопровождались постепенным нивелированием различий с контролем в содержании катехинов и флавонолов и в общем накоплении биофлавоноидов, максимальный выход которых в рамках эксперимента установлен при интенсивности светодиодного освещения 150 мкм/м²·с. Вместе с тем усиление воздействия исследуемого фактора до максимального уровня (250 мкм/м²·с) способствовало лишь наибольшей активизации накопления в микрозелени капусты титруемых кислот, пектиновых веществ и растворимых сахаров при минимальном содержании дубильных веществ.

На основании сопоставления исследуемых характеристик биохимического состава микрозелени капусты в зависимости от интенсивности светодиодного освещения были выявлены варианты опыта с наибольшими и, соответственно, наименьшими их значениями (табл. 2). Как видим, минимальная интенсивность воздействия данного фактора обеспечивала наиболее контрастную картину трансформации ее биохимического состава благодаря лидирующему положению в накоплении хлорофиллов и каротиноидов, в том числе β-каротина, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, собственно антоцианов и антоциановых пигментов в целом, катехинов и дубильных веществ при наименьшем показателе сахарокислотного индекса и минимальном содержании растворимых сахаров, сухих и пектиновых веществ, лейкоантоцианов, флавонолов, а также общем количестве биофлавоноидов.

При интенсивности освещения 100 мкм/м²·с был достигнут максимум в накоплении только β-каротина и лейкоантоцианов при минимальном содержании титруемых кислот, катехинов, собственно антоцианов и антоциановых пигментов в целом, тогда как интенсивность освещения 150 мкм/м²·с обеспечивала достижение наиболее высокого в эксперименте, причем сопоставимого с таковым в предыдущем варианте опыта, содержания антоциановых пигментов, а также флавонолов и биофлавоноидов в целом при наименьшем количестве зеленых и желтых пластидных пигментов, катехинов и дубильных веществ.

Таблица 2. Интенсивность светодиодного освещения, обуславившая наибольшее (max) и наименьшее (min) содержание органических соединений в сухом веществе микрозелени капусты белокочанной

Table 2. Intensity of LED lighting causing the highest (max) and lowest (min) content of organic compounds in dry matter of white cabbage microgreens

Показатель	50 мкм/м ² ·с	100 мкм/м ² ·с	150 мкм/м ² ·с	200 мкм/м ² ·с	250 мкм/м ² ·с
Сухие вещества	min	–	–	max	–
Хлорофиллы	max	–	min	–	–
Каротиноиды	max	–	min	min	–
β-каротин	max	max	–	–	–
Свободные органические кислоты	–	min	–	–	max
Аскорбиновая кислота	max	–	–	min	min
Гидроксикоричные кислоты	max	–	–	min	–
Растворимые сахара	min	–	–	–	max
Сахарокислотный индекс	min	–	–	max	max
Пектиновые вещества	min	–	–	–	max
Собственно антоцианы	max	min	–	–	–
Лейкоантоцианы	min	max	–	min	min
Сумма антоциановых пигментов	max	min	max	min	min
Катехины	max	min	min	max	max

При интенсивности освещения 200 мкм/м²·с, принятой в качестве контроля, максимальными значениями были отмечены параметры накопления сухих веществ, катехинов и показатель сахарокислотного индекса, тогда как минимальными – содержание каротиноидов, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, лейкоантоцианов, флавонолов и биофлавоноидов в целом. Наибольшая же в эксперименте интенсивность светодиодного освещения (250 мкм/м²·с) способствовала

достижению максимального уровня накопления в микрозелени капусты катехинов, пектиновых веществ, титруемых кислот и растворимых сахаров, а также наиболее высокого показателя сахарокислотного индекса. Однако для ряда характеристик ее биохимического состава – содержания аскорбиновой кислоты, лейкоантоцианов, флавонолов и общего количества биофлавоноидов были получены сопоставимые с предыдущим вариантом опыта минимальные значения, тогда как для параметров накопления дубильных веществ – столь же низкие значения, как и в варианте с интенсивностью освещения 150 мкМ/м²·с.

На основании табл. 1 нетрудно убедиться в существенной зависимости биохимического состава микрозелени капусты от интенсивности воздействия исследуемого фактора. При этом различия темпов биосинтеза основных групп биофлавоноидов, обладающих выраженным Р-витаминным действием, практически не отразились на их долевом участии в составе биофлавоноидного комплекса, доминирующее положение в котором принадлежало флавонолам. Как следует из табл. 3, относительная доля последних варьировалась в рамках эксперимента в весьма узком диапазоне значений – от 75 % при интенсивности светодиодного освещения 50 мкМ/м²·с до 79 % при 100 мкМ/м²·с. При этом долевое участие катехинов и антоциановых пигментов, представленных преимущественно лейкоформами, изменялось в пределах 11–13 и 10–12 % соответственно.

Незначительная ширина приведенных диапазонов варьирования долевого участия основных групп полифенолов в составе Р-витаминного комплекса микрозелени капусты свидетельствовала о слабой зависимости соотношения их количества от интенсивности светодиодного освещения. При этом незначительные сдвиги относительно контроля в сторону усиления на 2–3 % роли доминирующих в данном комплексе флавонолов наблюдались во всех вариантах опыта, за исключением варианта с минимальной интенсивностью освещения, и были сопряжены с преимущественным ослаблением таковой катехинов.

Лидирующее положение по числу позитивных сдвигов в биохимическом составе микрозелени капусты относительно контроля принадлежало варианту опыта с минимальной интенсивностью освещения, тогда как наименьшее их количество – варианту с максимальной интенсивностью (см. табл. 3). При этом для обоих этих вариантов было показано наименьшее количество негативных сдвигов, тогда как наибольшее, причем сходное их количество, установлено при интенсивности освещения 100 и 150 мкМ/м²·с.

Таблица 3. Долевое участие основных групп биофлавоноидов в составе Р-витаминного комплекса микрозелени капусты белокочанной при разной интенсивности светодиодного освещения, %

Table 3. The share of the main groups of bioflavonoids in the P-vitamin complex of white cabbage microgreens with different intensity of LED lighting, %

Интенсивность освещения, мкМ/м ² ·с	Собственно антоцианы	Лейкоантоцианы	Сумма антоциановых пигментов	Катехины	Флавонолы
200 – Контроль	8	3	11	13	76
50	10	2	12	13	75
100	7	3	10	11	79
150	8	3	11	11	78
250	8	2	10	12	78

Вместе с тем относительные размеры разноориентированных отклонений опытных вариантов от контроля в содержании исследуемых соединений разной химической природы существенно различались между собой, что не позволяло дать объективную оценку степени межвариантных различий в биохимическом составе продукции по совокупности признаков. В связи с этим и в соответствии с разработанным Ж. А. Рупасовой с соавторами способом ранжирования объектов по совокупности признаков¹, в каждом тестируемом варианте опыта было осуществлено суммирование относительных размеров положительных и отрицательных расхождений с контролем по 17 количественным характеристикам биохимического состава образцов микрозелени капусты (табл. 4).

¹ Пат. ВУ 17648.

Таблица 4. Относительные размеры, амплитуды и соотношения разноориентированных различий с контролем вариантов опыта с разной интенсивностью светодиодного освещения по биохимическим характеристикам микрозелени капусты белокочанной

Table 4. Relative sizes, amplitudes and ratios of diversly oriented differences with the control of experimental variants with different intensity of LED lighting according to the biochemical characteristics of white cabbage microgreens

Интенсивность освещения, мкм/м ² ·с	Относительные различия, %				
	положит.	отрицат.	амплитуда	положит./отрицат.	совокупный эффект
50	186,6	130,0	316,6	1,4	+56,6
100	152,7	122,5	275,2	1,2	+30,2
150	109,1	122,3	231,4	0,9	-13,2
250	66,7	60,4	127,1	1,1	+6,3

По величине амплитуды выявленных различий можно было дать оценку степени изменений качественного состава опытных образцов в ту и иную сторону, тогда как на основании кратного размера соотношения относительных размеров позитивных и негативных сдвигов в их биохимическом составе можно было судить о степени преимуществ интегрального уровня питательной и витаминной ценности микрозелени капусты в каждом тестируемом варианте опыта относительно контроля, приняв за 1 биохимический состав продукции последнего.

Как следует из табл. 4, амплитуда выявленных отклонений опытных вариантов от контроля по совокупности анализируемых признаков варьировалась в рамках эксперимента от 127,1 % при максимальной интенсивности освещения 250 мкм/м²·с до 316,6 % при 50 мкм/м²·с, что свидетельствовало о минимальном в первом случае и максимальном во втором влиянии исследуемого фактора на качественный состав микрозелени капусты. При этом во всех вариантах опыта, за исключением варианта с интенсивностью освещения 150 мкм/м²·с, в ее биохимическом составе установлено превышение относительных размеров позитивных сдвигов над таковыми негативных, что свидетельствовало об определенном улучшении ее биохимического состава по сравнению с контролем, в качестве которого, напомним, был принят вариант с интенсивностью освещения 200 мкм/м²·с. Подтверждением тому могут служить также положительные значения совокупного эффекта в этих вариантах опыта в пределах 6–57 %. Лишь при интенсивности освещения 150 мкм/м²·с отмечено преобладание суммарной величины отрицательных сдвигов над таковой положительных, что однозначно свидетельствовало в этом случае о более низком, чем в контроле, интегральном уровне питательной и витаминной ценности микрозелени капусты. При этом в соответствии со снижением кратного размера соотношения положительных и отрицательных сдвигов в биохимическом составе последней относительно контроля тестируемые варианты опыта с разной интенсивностью светодиодного освещения, выраженной в мкм/м²·с, расположились следующим образом:

$$50 > 100 > 250 > 200 > 150.$$

Как видим, лидирующее положение в эксперименте по интегральному уровню питательной и витаминной ценности микрозелени капусты, превосходившему таковой в контроле в 1,4 раза, принадлежало варианту опыта с минимальной интенсивностью светодиодного освещения 50 мкм/м²·с. При этом варианты с интенсивностью освещения, превосходившие контрольный уровень в этом плане в 1,2 и 1,1 раза, уступали лидирующему варианту опыта соответственно в 1,2 и 1,3 раза. Что касается варианта с интенсивностью освещения 150 мкм/м²·с, суммарная величина отрицательных отклонений большинства биохимических характеристик от контроля в нем в 1,1 раза превышала таковую положительных, что обусловило его отставание по интегральному уровню питательной и витаминной ценности продукции от более успешных вариантов опыта в 1,2–1,6 раза и позволило считать его в этом плане неэффективным.

Выводы. На основании сравнительного исследования влияния интенсивности светодиодного освещения (50, 100, 150, 200, 250 мкм/м²·с) на содержание в образцах микрозелени капусты белокочанной хлорофиллов, каротиноидов и β-каротина, сухих, дубильных и пектиновых веществ, свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, растворимых сахаров,

основных групп биофлавоноидов – собственно антоцианов, лейкоантоцианов, катехинов, флавонолов и показатель сахарокислотного индекса установлено следующее.

Последовательное ослабление до минимального уровня (50 мкм/м²·с) по сравнению с контролем (200 мкм/м²·с) способствовало преимущественному обогащению микрозелени капусты фотосинтезирующими пигментами – хлорофиллами и каротиноидами, свободными органическими, аскорбиновой и гидроксикоричными кислотами, антоциановыми пигментами и дубильными веществами на фоне ее обеднения растворимыми сахарами, сухими и пектиновыми веществами при снижении показателя сахарокислотного индекса. Данные изменения в биохимическом составе исследуемой продукции сопровождались постепенным нивелированием различий с контролем в содержании катехинов и флавонолов и в общем накоплении биофлавоноидов, максимальный выход которых в рамках эксперимента установлен при интенсивности светодиодного освещения 150 мкм/м²·с. Вместе с тем усиление воздействия исследуемого фактора до максимального уровня 250 мкм/м²·с способствовало лишь наибольшей активизации накопления титруемых кислот, пектиновых веществ и растворимых сахаров при минимальном содержании дубильных веществ и отсутствии изменений относительно контроля в содержании аскорбиновой кислоты, всех компонентов биофлавоноидного комплекса и показателя сахарокислотного индекса.

Вместе с тем минимальная интенсивность светодиодного освещения обеспечивала наибольшую в эксперименте трансформацию биохимического состава микрозелени капусты относительно контроля, тогда как максимальная, напротив, наименьшую.

Установлено, что лидирующее положение в эксперименте по интегральному уровню питательной витаминной ценности данной продукции, превосходившему таковой в контроле в 1,4 раза, принадлежало варианту опыта с минимальной интенсивностью светодиодного освещения 50 мкм/м²·с, тогда как для варианта с интенсивностью освещения 150 мкм/м²·с было показано отставание в этом плане от контроля в 1,1 раза и, соответственно, от более успешных вариантов опыта в 1,2–1,6 раза, что позволило считать его неэффективным.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограмма 6 «Земледелие и селекция», задание 2.7.3 «Исследование биометрических показателей, продуктивности и биохимического состава микрозелени при выращивании в условиях искусственного освещения на основе светодиодов».

Acknowledgments. The research was carried out within the framework of the State Research Program “Agricultural Technologies and Food Security”, subprogram 6 “Agriculture and breeding”, task 2.7.3 “Study of biometric indicators, productivity and biochemical composition of microgreens when grown in LED artificial lighting”.

Список использованных источников

1. Пашкевич, А. Микрозелень – функциональный продукт XXI века / А. Пашкевич, А. Чайковский // Наука и инновации. – 2021. – № 11 (225). – С. 58–63.
2. Ebert, A. W. Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia / A. W. Ebert // High value vegetables in Southeast Asia: production, supply and demand: proc. SEAVEG 2012, Chiang Mai, Thailand, 24–26 Jan. 2012 / ed.: R. Holmer [et al.]. – Shanhua, 2012. – P. 216–227.
3. Микрозелень, или система земледелия без почвы / М. И. Иванова [и др.] // Гавриш. – 2016. – № 6. – С. 34–42.
4. Di Gioia, F. Microgreens. Nuovi alimenti freschi e funzionali per esplorare tutto il valore della biodiversità = Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity / F. Di Gioia, P. Santamaria. – Bari: ECO-logica, 2015. – 115 p.
5. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces / E. Pinto [et al.] // J. Food Compos. Anal. – 2015. – Vol. 37. – P. 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>
6. Ghora, M. D. Comparative evaluation of phytochemical content, antioxidant capacities and overall antioxidant potential of select culinary microgreens / M. D. Ghora, A. C. Haldipur, N. Srividya // J. Agric. Food Res. – 2020. – Vol. 2. – Art. 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100046>
7. Comprehensive evaluation of metabolites and minerals in 6 microgreen species and the influence of maturity species and the influence of maturity / S. A. Johnson [et al.] // Curr. Dev. Nutr. – 2020. – Vol. 5, № 2. – Art. 180. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa180>
8. Singh, N. Cruciferous microgreens: growing performance and their scope as super foods at high altitude locations / N. Singh, S. Rani, A. Michra // Progress. Hortic. – 2019. – Vol. 51, № 1. – P. 41–48. <https://doi.org/10.5958/2249-5258.2019.00004.6>
9. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens / B. Fuente [et al.] // Foods. – 2019. – Vol. 8, № 7. – Art. 250. <https://doi.org/10.3390/foods8070250>
10. Functional quality in novel food sources: genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species / M. C. Kyriacou [et al.] // Food Chem. – 2018. – Vol. 277. – P. 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.098>

11. Оптимизация светодиодной системы освещения витаминной космической оранжереи / И. О. Коновалова [и др.] // *Авиакосм. и экол. медицина*. – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 17–22.
12. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens / X. Zhang [et al.] // *Trends Food Sci. Technol.* – 2020. – Vol. 99. – P. 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.031>
13. Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse / A. Brazaitytė [et al.] // *Acta Hort.* – 2018. – № 1227. – P. 507–516. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.64>
14. Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within brassica microgreens / J. K. Craver [et al.] // *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* – 2017. – Vol. 142, № 1. – P. 3–12. <https://doi.org/10.21273/JASHS03830-16>
15. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Агрпромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 429 с.
16. Марсов, Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники: дис. ... канд. фармацевт. наук: 15.00.02 / Н. Г. Марсов. – Пермь, 2006. – 200 л.
17. Swain, T. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents / T. Swain, W. E. Hillis // *J. Sci. Food Agric.* – 1959. – Vol. 10, № 1. – P. 63–68. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2740100110>
18. Скорикова, Ю. Г. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах / Ю. Г. Скорикова, Э. А. Шафтан // Труды III Всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод / Урал. лесотехн. ин-т; отв. ред. Л. И. Вигоров. – Свердловск, 1968. – С. 451–460.
19. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреева [и др.] // *Фармация*. – 2013. – № 3. – С. 19–21.
20. Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея Союза Советских Социалистических Республик / М-во здравоохранения СССР. – 11-е изд. – М., 1987. – Вып. 1: Общие методы анализа. – С. 286–287.

References

1. Pashkevich A., Chaikovskiy A. Microgreens as a functional product of the 21st century. *Nauka i innovatsii = Science and Innovation*, 2021, no. 11 (225), pp. 58–63 (in Russian).
2. Ebert A. W. Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia. *High value vegetables in Southeast Asia: production, supply and demand: proceedings SEAVEG 2012, Chiang Mai, Thailand, 24–26 January 2012*. Shanhu, 2012, pp. 216–227.
3. Ivanova M. I., Kashleva A. I., Mikhailov V. V., Bukharov A. F., Baleev D. N., Razin O. A. Microgreens or a system of farming without soil. *Gavrish*, 2016, no. 6, pp. 34–42 (in Russian).
4. Di Gioia F., Santamaria P. *Microgreens. Nuovi alimenti freschi e funzionali per esplorare tutto il valore della biodiversità = Novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity*. Bari, ECO-logica, 2015. 115 p.
5. Pinto E., Almeida A. A., Aguiar A. A., Ferreira I. M. P. L. V. O. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2015, vol. 37, pp. 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>
6. Ghoora M. D., Haldipur A. C., Srividya N. Comparative evaluation of phytochemical content, antioxidant capacities and overall antioxidant potential of select culinary microgreens. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2020, vol. 2, art. 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100046>
7. Johnson S. A., Prenni J. E., Heuberger A. L., Isweiri H., Chaparro J. M., Newman S. E. [et al.]. Comprehensive evaluation of metabolites and minerals in 6 microgreen species and the influence of maturity species and the influence of maturity. *Current Developments in Nutrition*, 2020, vol. 5, no. 2, art. 180. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa180>
8. Singh N., Rani S., Michra A. Cruciferous microgreens: growing performance and their scope as super foods at high altitude locations. *Progressive Horticulture*, 2019, vol. 51, no. 1, pp. 41–48. <https://doi.org/10.5958/2249-5258.2019.00004.6>
9. Fuente B., López-García G., Mañez V., Alegría A., Barberá R., Cilla A. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens. *Foods*, 2019, vol. 8, no. 7, art. 250. <https://doi.org/10.3390/foods8070250>
10. Kyriacou M. C., El-Nakhel C., Graziani G., Pannico A., Soteriou G. A., Giordano M., Ritieni A., De Pascale S., Roupheal Y. Functional quality in novel food sources: genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species. *Food Chemistry*, 2018, vol. 277, pp. 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.098>
11. Konovalova I. O., Berkovich Yu. A., Erokhin A. N., Smolyanina S. O., Yakovleva O. S., Znamensky A. I., Tarakanov I. G., Radchenko S. G., Lapach S. N., Trofimov Yu. V., Tsvirko V. I. Optimization of the LED lighting system of the vitamin space greenhouse. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina = Aerospace and Environmental Medicine*, 2016, vol. 50, no. 3, pp. 17–23 (in Russian).
12. Zhang X., Bian Z., Yuan X., Chen X., Lu C. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 99, pp. 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.031>
13. Brazaitytė A., Vaštakaitė V., Viršilė A., Jankauskienė J., Samuolienė G., Sakalauskienė S., Novičkovas A., Miliauskienė J., Duchovskis P. Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse. *Acta Horticulturae*, 2018, no. 1227, pp. 507–516. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1227.64>
14. Craver J. K., Gerovac J. R., Lopez R. G., Kopsell D. A. Light Intensity and Light quality from Sole-source Light-emitting Diodes Impact Phytochemical Concentrations within Brassica Microgreens. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2017, vol. 142, no. 1, pp. 3–12. <https://doi.org/10.21273/JASHS03830-16>
15. Ermakov A. I. (ed.). *Methods of biochemical research of plants*. Leningrad, Agropromizdat Publ., 1987. 429 p. (in Russian).

16. Marsov N. G. *Phytochemical study and biological activity of cranberries, cranberries and blueberries*. Perm, 2006. 200 p. (in Russian).
17. Swain T., Hillis W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1959, vol. 10, no. 1, pp. 63–68. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2740100110>
18. Skorikova Yu. G., Chaftan E. A. Method for determining anthocyanins in fruits and berries. *Trudy III Vsesoyuznogo seminar po biologicheskii aktivnym (lechebnym) veshchestvam plodov i yagod* [Proceedings of the III All-Union seminar on biologically active (therapeutic) substances of fruits and berries]. Sverdlovsk, 1968, pp. 451–460 (in Russian).
19. Andreyeva V. Yu., Kalinkina G. I., Kolomiets N., Isaikina N. V. Procedure for determination of antocyanins in the black chokeberries (*Aronia melanocarpa*). *Pharmatsiya = Pharmacy*, 2013, no. 3, pp. 19–21 (in Russian).
20. Determination of the content of tannins in medicinal plant raw materials. *State Pharmacopoeia of the USSR. Issue 1. General methods of analysis*. 11th ed. Moscow, 1987, pp. 286–287 (in Russian).

Информация об авторах

Пашкевич Анна Михайловна – аспирант, заведующий сектором бобовых овощных культур, Институт овощеводства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, Самохваловичи, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: faba@belniio.by. <https://orcid.org/0000-0002-3742-8030>

Чайковский Андрей Иванович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор Института овощеводства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, Самохваловичи, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: director@belniio.by

Рупасова Жанна Александровна – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией химии растений, Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: j.rupasova@cbg.org.by

Креницкая Наталья Болеславовна – научный сотрудник лаборатории химии растений, Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: n.krinitckaya@cbg.org.by

Задала Виктория Сергеевна – научный сотрудник лаборатории химии растений, Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: v.zadala@cbg.org.by

Шпитальная Тамара Васильевна – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией интродукции древесных растений, Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: T.Shpitalnaya@cbg.org.by

Гончарова Людмила Владимировна – кандидат биологических наук, доцент, заместитель директора по научной и инновационной работе, Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: L.Goncharova@cbg.org.by

Трофимов Юрий Васильевич – кандидат технических наук, директор Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

Бегматов Абдусамат Маматкулович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой ботаники, Термезский государственный университет (ул. Ф. Ходжаева, 43, 190111, Термез, Сурхандарьинская область, Узбекистан). E-mail: stevia_uz_terdu@rambler.ru

Information about the authors

Hanna M. Pashkevich – Postgraduate Student, Head of the Legume Vegetable Crops Sector, Institute of Vegetable Growing, National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovaleva Str., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: faba@belniio.by. <https://orcid.org/0000-0002-3742-8030>

Andrey I. Tchaikovskiy – Ph. D. (Agriculture), Associate Professor, Director of the Institute of Vegetable Growing of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovaleva Str., 223013, Samokhvalovichy, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). E-mail: director@belniio.by

Zhanna A. Rupasova – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, D. Sc. (Biology), Professor, Head of the Laboratory of Plant Chemistry, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: j.rupasova@cbg.org.by

Natalya B. Krinitckaya – Researcher of the Laboratory of Plant Chemistry, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: n.krinitckaya@cbg.org.by

Victoria S. Zadala – Researcher of the Laboratory of Plant Chemistry, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.zadala@cbg.org.by

Tamara V. Shpitalnaya – Ph. D. (Biology), Head of the Laboratory of Introduction of Woody Plants, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: T.Shpitalnaya@cbg.org.by

Ludmila V. Goncharova – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Deputy Director for Scientific and Innovative Work, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Sarganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: L.Goncharova@cbg.org.by

Yuri V. Trofimov – Ph. D. (Engineering), Director of the Center of LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoisky trakt, 220090, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@ledcenter.by

Abdusamat M. Begmatov – Ph. D. (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Botany, Termez State University (43, F. Khodzhaeva Str., 190111, Termez, Surkhandarya Region, Republic of Uzbekistan). E-mail: stevia_uz_terdu@rambler.ru