

ISSN 1817-7204 (Print)

ISSN 1817-7239 (Online)

УДК [635.342:581.192]:628.9(476)

<https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-182-194>

Поступила в редакцию 14.01.2022

Received 14.01.2022

**А. М. Пашкевич<sup>1</sup>, А. И. Чайковский<sup>1</sup>, Ж. А. Рупасова<sup>2</sup>,  
Т. И. Василевская<sup>2</sup>, Н. Б. Криницкая<sup>2</sup>, В. С. Задаля<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт овощеводства Национальной академии наук Беларуси,  
аг. Самохваловичи, Минский район, Беларусь*

<sup>2</sup>*Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь*

## **ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА БИОХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МИКРОЗЕЛЕНИ КАПУСТЫ БЕЛОКОЧАННОЙ**

**Аннотация.** В последние годы во всем мире наблюдается устойчивое повышение интереса общества к здоровым и сбалансированным продуктам питания. Микрозелень капусты белокочанной в этом отношении является источником широкого спектра полезных веществ и отличается более высоким их содержанием по сравнению с аналогичным товарным овощем. Вместе с тем информация о технологических аспектах выращивания, к которым в первую очередь относится продолжительность освещения, об их связи с биохимическим составом микрозелени промышленных сортов и гибридов данной культуры недостаточна и ограничивается весьма узким набором их характеристик. По этой причине особую актуальность обретает выявление оптимальной продолжительности светодиодного освещения в культуре микрозелени капусты белокочанной, обеспечивающей накопление наиболее высокой питательной и витаминной ценности и определяющей вкусовые качества данной продукции. Приведены результаты сравнительного исследования 14 количественных характеристик биохимического состава микрозелени капусты белокочанной (содержание 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) при разной продолжительности светодиодного освещения (8, 10, 12, 14, 16 ч). Наименее значительное влияние исследуемого фактора на биохимический состав микрозелени выявлено при 10-часовой экспозиции, тогда как максимальное, превышавшее его в три раза, – при 16-часовой. Показано, что наиболее высокий интегральный уровень питательной и витаминной ценности продукции по совокупности анализируемых показателей обеспечивался при 16-часовой продолжительности светодиодного освещения, тогда как минимальный – при 8-часовой. Впервые в Республике Беларусь выявлена оптимальная продолжительность светодиодного освещения для накопления физиологически ценных соединений микрозеленью капусты белокочанной, что дало возможность рекомендовать ее для использования при промышленном производстве данной продукции.

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

**Для цитирования:** Влияние продолжительности светодиодного освещения на биохимический состав микрозелени капусты белокочанной / А. М. Пашкевич, А. И. Чайковский, Ж. А. Рупасова, Т. И. Василевская, Н. Б. Криницкая, В. С. Задаля // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2022. – Т. 60, № 2. – С. 182–194. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-182-194>

**Hanna M. Pashkevich<sup>1</sup>, Andrey I. Tchaikovsky<sup>1</sup>, Zhanna A. Rupasova<sup>2</sup>,  
Tamara I. Vasilevskaya<sup>2</sup>, Natalya B. Krinitckaya<sup>2</sup>, Victoria S. Zadala<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Vegetable Growing of the National Academy of Sciences of Belarus,  
agro-town Samokhvalovichy, Minsk District, Belarus*

<sup>2</sup>*Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

## **EFFECT OF LED LIGHTING DURATION ON BIOCHEMICAL COMPOSITION OF MICROGREENS OF WHITE CABBAGE**

**Abstract.** In recent years, there has been a steady increase in public interest in healthy and balanced foods all over the world. In this respect, the microgreens of white cabbage is a source of a wide range of useful substances and is characterized by a higher content of those, compared with a similar commercial vegetable. At the same time, information about technological aspects of cultivation, which relate to the duration of lighting, about their correlation with biochemical composition of microgreens of industrial varieties and hybrids of this crop is insufficient and is limited to a very narrow set of their parameters. For this reason, it is of particular relevance to identify the optimal duration of LED lighting in the white cabbage microgreens crop, which ensures accumulation of the highest nutritional and vitamin value and determines the taste qualities

of this product. The results of a comparative study of 14 quantitative parameters of biochemical composition of white cabbage microgreens (content of dry, tannic and pectin substances, free organic, ascorbic and hydroxycinnamic acids, soluble sugars, the main groups of bioflavonoids – i.e. anthocyanins, leucoanthocyanins, catechins, flavonols and the indicator of sugar acid index) with different duration of LED lighting are presented (8, 10, 12, 14 and 16 hours). The less significant effect of the studied factor on biochemical composition of microgreens was revealed at 10 hour exposure, while the maximum, exceeding it three times, was at 16 hour exposure. It has been shown that the highest integral level of nutritional and vitamin value of products according to the total analyzed indicators was provided at 16 hours of LED lighting, while the minimum – at 8 hours. For the first time in the Republic of Belarus, the optimal duration of LED lighting for the accumulation of physiologically valuable compounds by microgreens of white cabbage was revealed, which made it possible to recommend it to be used for industrial production.

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

**For citation:** Pashkevich A. M., Tchaikovskiy A. I., Rupasova Zh. A., Vasilevskaya T. I., Krinitskaya N. B., Zadalya V. S. The influence of the duration of LED lighting on the biochemical composition of the microgreens of white cabbage. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2022, vol. 60, no. 2, pp. 182–194 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-182-194>

**Введение.** Минеральное недоедание считается одной из важнейших глобальных проблем для человечества, которую можно предотвратить. По данным ученых, более 60 % из 7 млрд жителей нашей планеты являются Fe-дефинитивными, более 30 % – Zn-дефинитивными, а 15 % – Se-дефинитивными. Кроме того, в пищевом рационе жителей развитых и развивающихся стран наблюдается дефицит Ca, Mg и Cu. Благодаря исследованиям установлено, что потребление овощей связано с сокращением случаев развития хронических заболеваний, таких как рак, сердечно-сосудистые и др. ФАО и ВОЗ подчеркнули необходимость увеличения в рационе населения овощей, которые являются важным компонентом здорового питания. По этой причине на 74-й сессии Генеральной Ассамблеи Организации Объединенных Наций с целью повышения осведомленности о важности овощей и фруктов для питания, здоровья и продовольственной безопасности 2021 год был объявлен Международным годом овощей и фруктов (МГОФ). Как отметил Генеральный директор ФАО, в ситуации, когда пандемия COVID-19 заставила человечество искать новые пути в борьбе с голодом и неполноценным питанием, МГОФ акцентирует внимание на важности овощей и фруктов для повышения качества рациона и расширении рыночных возможностей сельхозпроизводителей [1].

Как отмечают зарубежные авторы, наиболее часто потребляемыми овощами во всем мире являются овощи сем. *Brassicaceae* Burnett (Капустные), включая капусту белокочанную, кольраби, брокколи, капусту цветную, брюссельскую и др., которые отличаются высоким содержанием фитохимических соединений [2]. Многие соединения капустных культур, например фенолы, обладают противовоспалительными свойствами и действуют как ингибиторы циклооксигеназы, будучи противовоспалительным цитокином, не обнаруживаемым в нормальных тканях, но индуцируемым при появлении воспалительных и митогенных стимулов [3]. Отдельного внимания заслуживают биологически активные вторичные серосодержащие метаболиты – глюкозинолаты, которые широко изучаются во всем мире из-за их антиоксидантной, противовоспалительной и противораковой активности [4]. Кочанная капуста и капуста брокколи, будучи прекрасными источниками индолов, дитиолотионов, изотиоцианатов и хлорофиллов, минимизируют риск сердечных приступов, способствуют поддержанию правильного кровообращения и снижению артериального давления [5]. В дополнение к глюкозинолатам, овощи сем. *Brassicaceae* Burnett накапливают высокие уровни антиоксидантных веществ, таких как аскорбиновая кислота и каротиноиды [6]. Аскорбиновая кислота является кофактором ферментов, участвует в регуляции фотосинтеза, играет важную роль в биосинтезе гормонов, регулирует деление и рост клеток, участвует в передаче сигналов, в дополнение к детоксикации тяжелых металлов и запуску различных радикальных реакций [7]. В свою очередь, рационы с высоким содержанием каротиноидов обуславливают существенное снижение риска некоторых видов онкологических заболеваний, коронарной болезни сердца и некоторых дегенеративных расстройств, в частности катаракты [8]. Также каротиноиды действуют как биологические антиоксиданты, защищая клетки и ткани от окислительных повреждений [9].

Наряду с проблемами участвовавшего минерального дефицита выступают заболевания, вызванные недобросовестным использованием нитратных удобрений производителями овощей [10]. Таким образом, овощи могут быть источником нитрата ( $\text{NO}_3^-$ ), который сам по себе не является токсичным. Однако около 5 % потребляемых с ним нитрат-ионов распадаются в желудочно-кишечном тракте до более токсичного аниона нитрита ( $\text{NO}_2^-$ ), а также оксида азота  $\text{NO}$  и N-нитрозосоединений, которые могут приводить к расстройствам, например метгемоглобинемии (особенно у детей) [11]. В связи с этим последние тенденции мировых исследований направлены на изучение вопросов выращивания овощей со сниженным содержанием нитратов и повышенным содержанием минеральных компонентов.

Помимо всего, в современном мире актуальны вопросы обеспечения населения Земли достаточным количеством пищи и воды, сохранение биоразнообразия нашей планеты. Сельское хозяйство все чаще сталкивается с последствиями изменения климата, усилением конкуренции за воду, продуктивные земли, продолжением миграции из сельских районов в городские, растущим социальным беспокойством по поводу системы производства пищевых продуктов. Один из подходов к решению этих проблем – активизация сельскохозяйственного производства за счет увеличения производительности на единицу площади, но этого, вероятно, будет недостаточно. И уже сегодня ставится вопрос не о расширении площади пахотных земель и дальнейшем сокращении природных территорий, а о культивировании растений без почвы. Примером может служить выращивание овощей в городских условиях на протяжении всего года – это экономически выгодно и не требует применения удобрений и средств защиты растений [1]. Также наблюдается устойчивая тенденция к противостоянию негативному воздействию современного сельского хозяйства, которая выражается в многочисленных инициативах по изменению существующих моделей производства и потребления пищевых продуктов. Примером служат «Дорожная карта к ресурсоэффективной Европе к 2050 г.», движение “Slow Food”, проект «Тысяча садов в Африке» и др. [12]. Подобные инициативы, объединяющие как производителей, так и потребителей, приводят к поиску новых форм производства высокоценных в белковом, минеральном и витаминном отношении растительных продуктов, к которым относится микрозелень.

Микрозелень (англ. *microgreens*), также известная как «овощные конфетти», или микропряно-травья (англ. *microherbs*), в случае ароматических трав, – новый класс съедобных специализированных растений, определяемых как нежная незрелая зелень, выращенная из семян овощей, пряно-ароматических трав или зерновых культур, включая дикие виды. В зависимости от вида и условий выращивания микрозелень обычно собирают на уровне почвы, т. е. у основания гипокотилей, после появления первой пары настоящих листьев, когда семядоли полностью расширены, обычно в течение 7–20 дней после прорастания семян [13].

Обычно микрозелень потребляется в сыром виде. При этом сохраняются все полезные свойства, благодаря чему данный класс органической продукции относится к категории «функциональных продуктов» со свойствами, способствующими укреплению здоровья, помимо основной функции обеспечения питательными веществами [14]. Зарубежные исследователи выявили, что микрозелень содержит большое количество фитонутриентов (аскорбиновая кислота,  $\beta$ -каротин,  $\alpha$ -токоферол и филлохинон), минералы (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se и Mo) и более низкий уровень нитратов по сравнению с аналогами из зрелых листьев, плодов и семян [15].

Как среди овощной группы, так и среди микрозелени наиболее часто употребляемым видом является капуста, в особенности капуста белокочанная. Однако, как упоминалось ранее, фитохимический профиль микрозелени значительно превышает таковой зрелого кочанного овоща по большинству показателей [6, 16–24]. По этой причине в качестве изучаемого объекта нами была выбрана микрозелень капусты белокочанной.

Существенным аспектом при выращивании микрозелени в условиях закрытой контролируемой среды является освещение, которое для высших растений одновременно является сигналом к росту и развитию и источником энергии [25]. Растения адаптируются к условиям световой среды не только изменениями морфофизиологических показателей, но и перестройкой своего светособирающего комплекса [26].

Наиболее важными параметрами режима освещения являются: фотопериод (продолжительность освещения), спектральный состав света, величина плотности потока фотонов и ха-

раक्टर излучения. Особенно значительно влияет на растения продолжительность освещения, определяющая как рост биомассы, так и накопление вторичных метаболитов [27].

Использование искусственных светодиодных источников света в культуре микрозелени во всем мире ведется в направлении поиска оптимальных режимов освещения, обеспечивающих как высокий биохимический состав, так и высокие продукционно-биометрические характеристики данного продукта [28–33]. Однако в зарубежной литературе встречается крайне ограниченное количество информации, касающейся продолжительности светодиодного освещения при выращивании микрозелени, а в отечественной литературе эти данные отсутствуют вовсе. По этой причине целью исследований стало изучение биохимического состава капусты белокочанной в культуре микрозелени в зависимости от продолжительности светодиодного освещения.

**Материалы и методы исследований.** Исследования выполнены в рамках производственного эксперимента на образцах микрозелени капусты белокочанной (гибрид Аватар F1). Семена отбирали из существующей коллекции генетических ресурсов овощных культур Института овощеводства Национальной академии наук Беларуси в 2000 г. Предварительно была определена лабораторная всхожесть и энергия прорастания отобранных семян лабораторным методом для исключения фактора использования посевного материала с низкими кондиционными показателями. Установленная всхожесть находилась на уровне 98 %, энергия прорастания – на уровне 97 %. Посевной материал капусты белокочанной промывали и выдерживали в отстоянной воде (комнатной температуры (+22 °C), pH – 7,7, содержание хлора – не более 1,1 мг/л) в течение 12 ч. Перед посевом семена дезинфицировали 3%-ным раствором перекиси водорода и снова промывали; посев выполняли сплошным методом из расчета 600 шт. семян на делянку. Полив проводился через сутки отстоянной водопроводной водой ранее указанных характеристик по 60 мл на делянку.

Культивирование микрозелени проводили в полипластовых поддонах (179×132 мм, объем 750 мл), стерилизуемых 96%-ным этиловым спиртом. В качестве грунта для выращивания использовали подготовленный торфяной субстрат, проавтоклавированный в паровом автоклаве ВК-75-01 (время стерилизационной выдержки – 20 мин, температура  $132 \pm 2$  °C, давление – 0,1 МПа). Опыты закладывали в трехкратной повторности в три цикла выращивания. Расположение делянок – случайное (рэндомизированное), размер одной делянки составлял 237 см<sup>2</sup> (17,9×13,2 см), площадь под одним вариантом – 0,4 м<sup>2</sup>.

Опытные растения выращивали в условиях светокультуры в фитотроне, оснащенный облучательной фитоустановкой стеллажного типа FLORA LED 300/2/4 разработки и производства РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси». Установка была оснащена десятью светодиодными светильниками ДСП08-3x12-004 УХЛ4 при продолжительности освещения 8, 10, 12, 14 и 16 ч. В качестве контроля было принято значение фотопериода, равное 12 ч.

Исследование биохимического состава образцов микрозелени 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 28561-90<sup>1</sup>, аскорбиновой кислоты (витамина С) – стандартным индофенольным методом; титруемых кислот (общей кислотности) – объемным методом<sup>2</sup>.

В высушенных при температуре 60 °C пробах растительного материала определяли содержание: гидроксикоричных кислот (в пересчете на хлорогеновую) – спектрофотометрическим методом<sup>3</sup>; растворимых сахаров – ускоренным полумикрометодом<sup>4</sup>; пектиновых веществ – кальциево-пектатным методом<sup>5</sup>; суммы антоциановых пигментов – по методу

<sup>1</sup> Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги: ГОСТ 28561-90. Введ. 01.07.1991. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200022798> (дата обращения: 12.01.2022).

<sup>2</sup> Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 430 с.

<sup>3</sup> Марсов Н. Г. Фитохимическое изучение и биологическая активность брусники, клюквы и черники: дис. ... канд. фармацевт. наук: 05.00.02. Пермь, 2006. 200 л.

<sup>4</sup> Большой практикум «Биохимия». Лабораторные работы: учеб. пособие / сост.: М. Г. Кусакина, В. И. Суворов, Л. А. Чудинова. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т, 2012. 147 с.

<sup>5</sup> Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 430 с.

T. Swain, W. E. Hillis<sup>6</sup>, с построением градуировочной кривой по кристаллическому цианидину, полученному из плодов аронии черноплодной и очищенному по методике Ю. Г. Скориковой и Э. А. Шафтан<sup>7</sup>; собственно антоцианов и суммы катехинов (с использованием ванилинового реактива) – фотоэлектроколориметрическим методом<sup>8</sup>; суммы флавонолов (в пересчете на рутин) – спектрофотометрическим методом<sup>9</sup>; дубильных веществ (танинов) – титрометрическим методом Левентала<sup>10</sup>.

Все измерения и определения выполнены в 2-кратной биологической и 3-кратной аналитической повторностях 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 высокий интегральный уровень питательной и витаминной ценности микрозелени капусты белокочанной, осуществляли с использованием авторского способа ранжирования объектов по совокупности анализируемых признаков, защищенного патентом<sup>11</sup>.

**Результаты и их обсуждение.** Повариантное исследование биохимического состава микрозелени капусты белокочанной показало существенную зависимость его количественных характеристик от продолжительности светодиодного освещения. По нашим данным, содержание сухих веществ в исследуемых образцах микрозелени капусты варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне 5,1–8,1 % при изменении содержания в ее сухой массе свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот в пределах 3,60–6,31 %, 678,8–1092,5 мг/100 г и 1714,4–2383,3 мг/100 г соответственно, растворимых сахаров – от 6,50 до 10,33 % при соответствующих межвариантных различиях сахарокислотного индекса, определяемого соотношением количеств растворимых сахаров и титруемых кислот и варьировавшегося в интервале 1,03–2,78. При этом сравнительно невысокие параметры накопления пектиновых и дубильных веществ в сухой массе микрозелени капусты варьировались в диапазонах 2,10–3,73 и 1,21–2,31 % соответственно.

Особый интерес в данной работе представляло исследование ответной реакции наиболее ценного в физиологическом смысле биофлавоноидного (Р-витаминного) комплекса микрозелени капусты на продолжительность светодиодного освещения. Установлено, что общее содержание этих биологически активных соединений, являющихся природными антиоксидантами, в ее сухой массе было достаточно высоким и варьировалось в рамках эксперимента в диапазоне 3096,8–4063,7 мг/100 г при суммарном количестве антоциановых пигментов 364,0–1031,3 мг/100 г, представленных преимущественно лейкоформами, содержание которых составляло 353,0–860,7 мг/100 г, тогда как таковое собственно антоцианов было чрезвычайно низким и не превышало 11,0–170,7 мг/100 г. При этом интервал изменения содержания флавонолов, лидирующих в составе Р-витаминного комплекса микрозелени капусты, соответствовал области значений 2190,6–2812,1 мг/100 г сухой массы, а содержания катехинов – 485,3–511,6 мг/100 г.

Значительная ширина приведенных диапазонов варьирования обозначенных признаков свидетельствовала об их существенной зависимости от продолжительности светодиодного освещения. Вместе с тем влияние последнего на исследуемые характеристики биохимического состава микрозелени капусты оказалось весьма неоднозначным (табл. 1). При этом в ряде случаев прослеживалась явная общность тенденций в ориентации расхождений опытных вариантов

<sup>6</sup> Swain T., Hillis W. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. J. of the Science of Food a. Agriculture. 1959. Vol. 10, № 1. P. 63–68. <https://doi.org/10.1002/JSFA.2740100110>

<sup>7</sup> Скорикова, Ю. Г., Шафтан, Э. А. Методика определения антоцианов в плодах и ягодах. Труды 3 Всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод / Урал. лесотехн. ин-т. Свердловск, 1968. С. 451–461.

<sup>8</sup> Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 430 с. Методика определения антоцианов в плодах аронии черноплодной / В. Ю. Андреева [и др.] // Фармация. 2013. № 3. С. 19–21.

<sup>9</sup> Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. 3-е изд., перераб. и доп. Ленинград, 1987. 430 с.

<sup>10</sup> Определение содержания дубильных веществ в лекарственном растительном сырье // Государственная фармакопея СССР. М.: Медицина, 1987. Вып. 1: Общие методы анализа. С. 286–287.

<sup>11</sup> Способ ранжирования таксонов растения: пат. ВУ 17648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев. Оpubл. 30.10.2013.

с контролем в содержании анализируемых соединений при заметных межвариантных различиях степени их проявления. Так, при минимальной в эксперименте 8-часовой продолжительности светодиодного освещения наблюдалось ингибирование по сравнению с контролем (12-часовая экспозиция) на 5–80 % накопления сухих, пектиновых и дубильных веществ, аскорбиновой кислоты, растворимых сахаров, собственно антоцианов и лейкоантоцианов при снижении почти на 50 % показателя сахарокислотного индекса на фоне активизации накопления на 5–25 % только катехинов, свободных органических и гидроксикоричных кислот. При этом не выявлено достоверных различий с контролем в содержании флавонолов. Заметим, что при 10-часовой продолжительности освещения происходило нивелирование различий с контролем не только в содержании собственно антоцианов, катехинов и флавонолов, но также свободных органических кислот, сухих и пектиновых веществ. Это сопровождалось отставанием от него на 6–46 % содержания в микрозелени капусты дубильных веществ, растворимых сахаров и показателя сахарокислотного индекса при активизации на 2–50 % накопления аскорбиновой и гидроксикоричных кислот, но в наибольшей степени лейкоантоцианов.

Т а б л и ц а 1. Относительные различия с контролем вариантов опыта с разной продолжительностью светодиодного освещения по биохимическим характеристикам микрозелени капусты белокочанной, %

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

| Показатель                     | 8 ч   | 10 ч  | 14 ч  | 16 ч   |
|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Сухие вещества                 | -19,0 | -     | +27,0 | +28,6  |
| Свободные органические кислоты | +24,7 | -     | -18,2 | -28,9  |
| Аскорбиновая кислота           | -5,3  | +16,0 | -27,9 | -9,1   |
| Гидроксикоричные кислоты       | +12,6 | +2,2  | -4,9  | -19,0  |
| Растворимые сахара             | -37,1 | -6,4  | -12,9 | -3,1   |
| Сахарокислотный индекс         | -49,5 | -7,4  | +6,9  | +36,3  |
| Пектиновые вещества            | -9,9  | -     | +30,5 | +60,1  |
| Собственно антоцианы           | -79,8 | -     | +42,9 | +213,2 |
| Лейкоантоцианы                 | -38,3 | +49,5 | +3,0  | +50,4  |
| Сумма антоциановых пигментов   | -41,9 | +45,2 | +6,4  | +64,5  |
| Катехины                       | +5,4  | -     | -     | -      |
| Флавонолы                      | -     | -     | +28,4 | +15,3  |
| Сумма биофлавоноидов           | -6,2  | +10,4 | +20,0 | +23,0  |
| Дубильные вещества             | -9,9  | -45,5 | +4,1  | -6,3   |

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

Использование же более продолжительного, нежели в контроле, воздействия исследуемого фактора на опытные растения способствовало усилению сходства в направленности изменений биохимического состава микрозелени капусты при 14- и 16-часовом освещении по сравнению с контролем. Это подтверждалось активизацией накопления в данных вариантах опыта на 3–43 и 15–213 % сухих и пектиновых веществ соответственно, собственно антоцианов и лейкоантоцианов, а также флавонолов при увеличении на 7 и 36 % показателя сахарокислотного индекса на фоне снижения на 5–28 и 3–29 % содержания растворимых сахаров, а также свободных органических, аскорбиновой и гидроксикоричных кислот при отсутствии различий с контролем в содержании катехинов. Лишь в единичном случае – для содержания дубильных веществ – в этих вариантах опыта была выявлена разновекторность различий с контролем – превышение на 4 % при 14-часовой экспозиции и отставание на 6 % при 16-часовой.

Как видим, сокращение продолжительности светодиодного освещения относительно контроля (12-часовая экспозиция) способствовало преимущественному обогащению микрозелени капусты органическими кислотами, сопровождавшемуся обеднением ее растворимыми сахарами и снижением сладости продукции, наиболее выраженным на фоне минимальной 8-часовой экспозиции, обусловившей также значительное снижение содержания в ней компонентов антоцианового комплекса, являющихся природными антиоксидантами. Увеличение же продолжи-

тельности светодиодного освещения относительно контроля приводило к усилению накопления в микрозелени капусты сухих и пектиновых веществ, а также основных групп биофлавоноидов, за исключением катехинов, сопровождавшемся ингибированием биосинтеза растворимых сахаров, но в большей степени органических кислот, что способствовало увеличению сладости продукции при наиболее выраженном проявлении большинства выявленных эффектов при максимальной 16-часовой экспозиции.

На основании сопоставления исследуемых характеристик биохимического состава микрозелени капусты при разной продолжительности светодиодного освещения были выявлены варианты опыта с наибольшими и, соответственно, наименьшими их значениями (табл. 2). Как видим, 8-часовая продолжительность светодиодного освещения обеспечивала лидирующее положение в накоплении катехинов, титруемых и гидроксикоричных кислот. При 10-часовой его продолжительности был достигнут максимум в накоплении аскорбиновой кислоты и лейкоантоцианов, а при 12-часовой, принятой в качестве контроля, – в содержании растворимых сахаров. Применение 14-часовой экспозиции способствовало наибольшему в эксперименте накоплению в микрозелени капусты дубильных веществ, а также флавонолов и сухих веществ, сопоставимому с таковым при 16-часовой экспозиции, обеспечивавшей наряду с этим максимальное накопление в ней пектиновых веществ и биофлавоноидов за счет наиболее активного накопления флавонолов и компонентов антоцианового комплекса, а также наиболее высокий показатель сахарокислотного индекса, свидетельствовавший о наибольшей сладости производимой продукции.

Наряду с этим были выявлены варианты опыта с минимальными значениями биохимических характеристик микрозелени капусты, характеризовавшиеся наиболее существенным их отставанием от контроля (см. табл. 1). Так, при 8-часовой продолжительности освещения установлены наименьшие в эксперименте показатели накопления сухих и пектиновых веществ, растворимых сахаров, обоих компонентов антоцианового комплекса и флавонолов, а следовательно, и биофлавоноидов в целом, при наименьшем сахарокислотном индексе, тогда как при 10- и 12-часовой экспозициях были получены минимальные параметры накопления флавонолов, сопоставимые с установленными при 8-часовом освещении, а в первом случае также и дубильных веществ. При увеличении продолжительности освещения до 14 ч в микрозелени капусты установлено минимальное содержание аскорбиновой кислоты, а при 16-часовой экспозиции – свободных органических и гидроксикоричных кислот. Обращает на себя внимание, что наиболее значительное позитивное либо негативное влияние на биохимические характеристики микрозелени капусты установлено при 8- и 16-часовой продолжительности светодиодного освещения.

Вместе с тем различия темпов биосинтеза основных групп полифенолов, обладающих выраженным Р-витаминным действием, заметно отразились на их доле в составе биофлавоноидного комплекса, доминирующее положение в котором принадлежало флавонолам. Как следует из табл. 3, относительная доля последних в составе данного комплекса варьировалась в рамках эксперимента от 61 % при 10-часовой экспозиции до 71 % при 8- и 14-часовой. За ними следовали антоциановые пигменты, представленные на 83–97 % лейкоформами, с долевым участием в составе биофлавоноидного комплекса от 12 % при 8-часовой экспозиции до 25–26 % при 10- и 16-часовой, в том числе лейкоантоцианов – от 11 до 21–23 %, а собственно антоцианов – от 1 до 2–4 %. Наименьшей же относительной долей в составе Р-витаминного комплекса микрозелени капусты, не превышавшей 12–17 %, характеризовались катехины при минимальных значениях данного показателя при 14- и 16-часовой экспозициях и максимальных при 8-часовой.

Т а б л и ц а 2. Продолжительность светодиодного освещения, обусловившая наибольшее (max) и наименьшее (min) содержание органических соединений в сухом веществе микрозелени капусты белокочанной

Table 2. Duration of LED lighting, which caused the highest (max) and lowest (min) content of organic compounds in dry matter of white cabbage microgreens

| Показатель                     | 8 ч | 10 ч | 12 ч | 14 ч | 16 ч |
|--------------------------------|-----|------|------|------|------|
| Сухие вещества                 | min |      |      | max  | max  |
| Свободные органические кислоты | max |      |      |      | min  |
| Аскорбиновая кислота           |     | max  |      | min  |      |

Окончание табл. 2

| Показатель                   | 8 ч | 10 ч | 12 ч | 14 ч | 16 ч |
|------------------------------|-----|------|------|------|------|
| Гидроксикоричные кислоты     | max |      |      |      | min  |
| Растворимые сахара           | min |      | max  |      |      |
| Сахарокислотный индекс       | min |      |      |      | max  |
| Пектиновые вещества          | min |      |      |      | max  |
| Собственно антоцианы         | min |      |      |      | max  |
| Лейкоантоцианы               | min | max  |      |      | max  |
| Сумма антоциановых пигментов | min |      |      |      | max  |
| Катехины                     | max |      |      |      |      |
| Флавонолы                    | min | min  | min  | max  | max  |
| Сумма биофлавоноидов         | min |      |      |      | max  |
| Дубильные вещества           |     | min  |      | max  |      |

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

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

| Продолжительность освещения | Собственно антоцианы | Лейкоантоцианы | Сумма антоциановых пигментов | Катехины | Флавонолы |
|-----------------------------|----------------------|----------------|------------------------------|----------|-----------|
| 12 ч – контроль             | 2                    | 17             | 19                           | 15       | 66        |
| 8 ч                         | 1                    | 11             | 12                           | 17       | 71        |
| 10 ч                        | 2                    | 23             | 25                           | 14       | 61        |
| 14 ч                        | 2                    | 15             | 17                           | 12       | 71        |
| 16 ч                        | 4                    | 21             | 26                           | 12       | 62        |

Сравнительно широкие диапазоны варьирования в рамках эксперимента долевого участия основных групп полифенолов в составе Р-витаминного комплекса микрозелени капусты свидетельствовали о существенной зависимости соотношения их количеств от продолжительности светодиодного освещения, причем в большинстве случаев было выявлено заметное сходство в направленности изменений данного соотношения относительно контроля. Так, наибольшее усиление по сравнению с ним на 5 % роли доминирующих в биофлавоноидном комплексе флавонолов, наблюдаемое при 8- и 14-часовом освещении, в первом случае было сопряжено с преимущественным ослаблением таковой антоциановых пигментов, а во втором – как антоциановых пигментов, так и катехинов.

Исходя из вышеизложенного, нетрудно убедиться, что продолжительность светодиодного освещения оказывала существенное, причем неоднозначное влияние на содержание в микрозелени капусты органических соединений. Как следует из табл. 1, лидирующее положение по числу позитивных сдвигов в накоплении последних относительно контроля принадлежало вариантам опыта с 14- и 16-часовой экспозициями, тогда как наименьшим их количеством был отмечен вариант с 8-часовой экспозицией, характеризовавшийся соответственно наибольшим количеством негативных сдвигов. Вместе с тем относительные размеры отклонений опытных вариантов от контроля в содержании исследуемых соединений разной химической природы существенно различались между собой, что не позволяло дать объективную оценку степени преимуществ того или иного варианта относительно других в плане улучшения биохимического состава продукции по совокупности признаков. В связи с этим и в соответствии с разработанным Ж. А. Рупасовой с соавторами способом ранжирования объектов по совокупности признаков<sup>12</sup> в каждом тестируемом варианте опыта было осуществлено суммирование относительных размеров положительных и отрицательных расхождений с контролем по 14 количественным характеристикам биохимического состава образцов микрозелени капусты (табл. 4).

По величине амплитуды выявленных различий можно было дать оценку степени изменений качественного состава микрозелени капусты в ту и иную стороны, тогда как на основании

<sup>12</sup> Способ ранжирования таксонов растения: пат. ВУ 17648 / Ж. А. Рупасова, В. Н. Решетников, А. П. Яковлев. Оpubл. 30.10.2013.

кратного размера соотношения относительных размеров позитивных и негативных сдвигов в ее биохимическом составе можно было судить о степени преимуществ интегрального уровня питательной и витаминной ценности микрозелени в каждом тестируемом варианте опыта относительно контроля, приняв за 1 биохимический состав продукции последнего.

Как следует из табл. 4, амплитуда выявленных отклонений от контроля по совокупности анализируемых признаков варьировалась в рамках эксперимента от 182,6 % при 10-часовом освещении до 557,8 % при 16-часовом, 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 8-часовым освещением, в ее биохимическом составе установлено доминирование относительных размеров позитивных сдвигов над негативными, что свидетельствовало о заметном улучшении ее качественного состава по сравнению с контролем, в качестве которого, напомним, был принят вариант с 12-часовым освещением.

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

Table 4. Relative sizes, amplitudes and ratios of variously oriented differences with the control of experimental variants with different duration of LED lighting according to the biochemical parameters of white cabbage microgreen

| Продолжительность освещения | Относительные различия, % |                   |           |     |                   |
|-----------------------------|---------------------------|-------------------|-----------|-----|-------------------|
|                             | положительные (+)         | отрицательные (-) | амплитуда | +/- | совокупный эффект |
| 8 ч                         | 42,7                      | 296,9             | 339,6     | 0,1 | -254,2            |
| 10 ч                        | 123,3                     | 59,3              | 182,6     | 2,1 | +64,0             |
| 14 ч                        | 169,2                     | 63,9              | 233,1     | 2,6 | +105,3            |
| 16 ч                        | 491,4                     | 66,4              | 557,8     | 7,4 | +425,0            |

Подтверждением этому могут служить также положительные значения совокупного эффекта в этих вариантах опыта в пределах 64–425 %. Лишь при 8-часовой продолжительности освещения отмечено преобладание отрицательных сдвигов над положительными, 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 располагались следующим образом: 16 ч > 14 ч > 10 ч > 12 ч > 8 ч.

Как видим, лидирующее положение в эксперименте по интегральному уровню питательной и витаминной ценности микрозелени капусты, превосходившему таковой в контроле при продолжительности освещения 12 ч в 7,4 раза, принадлежало варианту опыта с 16-часовым освещением. При этом варианты с 10- и 14-часовым освещением, превосходившие контрольный уровень в этом плане соответственно в 2,1 и 2,6 раза, уступали лидирующему варианту опыта в 2,8–3,5 раза. Что касается варианта с 8-часовой продолжительностью освещения, то суммарная величина отрицательных отклонений большинства биохимических характеристик от контроля в нем почти в 7 раз превышала таковую положительных, что обусловило его отставание от более успешных вариантов опыта с 10-, 14- и 16-часовым освещением по интегральному уровню питательной и витаминной ценности продукции в 15, 19 и 53 раза соответственно, это позволило считать его в этом плане абсолютно неэффективным.

## Выводы

На основании сравнительного исследования влияния продолжительности светодиодного освещения (8, 10, 12, 14, 16 ч) на содержание в образцах микрозелени капусты белокочанной (гибрид Аватар F1) 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.

1. Сокращение продолжительности светодиодного освещения относительно контроля (12-часовая экспозиция) способствовало преимущественному обогащению микрозелени капусты органическими кислотами, сопровождавшемуся обеднением ее растворимыми сахарами и снижением сладости продукции, наиболее выраженным на фоне минимальной 8-часовой экспозиции, обусловившей также значительное снижение содержания в ней компонентов антоцианового комплекса, являющихся природными антиоксидантами. Увеличение же продолжительности светодиодного освещения относительно контроля приводило к усилению накопления в микрозелени капусты сухих и пектиновых веществ, а также основных групп биофлавоноидов, за исключением катехинов, сопровождавшемуся ингибированием биосинтеза растворимых сахаров и в большей степени органических кислот, что способствовало увеличению сладости продукции при наибольшем проявлении большинства выявленных эффектов при максимальной 16-часовой экспозиции.

2. Наименьшее влияние продолжительности светодиодного освещения на биохимический состав микрозелени капусты выявлено при 10-часовой экспозиции, тогда как максимальное, превышавшее его в три раза, – при 16-часовой. Лидирующее положение в эксперименте по интегральному уровню питательной и витаминной ценности данной продукции, превосходившему таковой в контроле в 7,4 раза, принадлежало варианту опыта с 16-часовой экспозицией. Варианты с 10- и 14-часовым освещением, превосходившие контроль в этом плане в 2,1 и 2,6 раза соответственно, уступали лидирующему варианту по качественному составу микрозелени в 3,5 и 2,8 раза. Для варианта опыта с 8-часовой экспозицией выявлено отставание от вариантов с 10-, 14- и 16-часовым освещением по качеству микрозелени в 15, 19 и 53 раза соответственно, что указывает на его абсолютную неэффективность.

**Благодарности.** Исследования выполнены в рамках Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2021–2025 годы, подпрограмма 6 «Земледелие и селекция».

**Acknowledgments.** The research was carried out within the framework of the State Research Program “Agricultural Technologies and Food Security” for 2021–2025, subprogram 6 “Agriculture and breeding”.

### 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. Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables / S. Manchali, K. N. Chidambara Murthy, B. S. Patil // J. of Functional Foods. – 2012. – Vol. 4, № 1. – P. 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.08.004>
3. Heber, D. Vegetables, fruits and phytoestrogens in the prevention of diseases / D. Heber // J. of Postgraduate Medicine. – 2004. – Vol. 50, № 3. – P. 145–149.
4. Nutrient levels in Brassicaceae microgreens increase under tailored light-emitting diode spectra / G. Samuoliene [et al.] // Frontiers in Plant Science. – 2019. – Vol. 10. – Art. 1475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01475>
5. Howard, B. V. Phytochemicals and cardiovascular disease. A statement for healthcare professionals from the American Heart Association / B. V. Howard, D. Kritchevsky // Circulation. – 1999. – Vol. 95, № 11. – P. 2591–2593. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.95.11.2591>
6. Microgreens of Brassicaceae: genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity / Z. Xiao [et al.] // LWT – Food Science a. Technology. – 2018. – Vol. 101. – P. 731–737. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.076>
7. Hacısevki, A. An overview of ascorbic acid biochemistry / A. Hacısevki // J. of Fac. of Pharmacy of Ankara Univ. – 2009. – Vol. 38, № 3. – P. 233–255. [https://doi.org/10.1501/Eczfak\\_0000000528](https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000528)
8. Johnson, E. J. The role of carotenoids in human health / E. J. Johnson // Nutrition in Clinical Care. – 2002. – Vol. 5, № 2. – P. 56–65. <https://doi.org/10.1046/j.1523-5408.2002.00004.x>
9. Edge, R. The carotenoids as anti-oxidants: a review / R. Edge, D. J. McGarvey, T. G. Truscott // J. Photochemistry a. Photobiology B: Biology. – 1997. – Vol. 41, № 3. – P. 189–200. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(97\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(97)00092-4)
10. Пашкевич, А. М. Микрозелень – новая категория органической овощной продукции / А. М. Пашкевич, А. И. Чайковский, К. И. Беляева // Научно-инновационные основы развития отрасли овощеводства : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., аг. Самохваловичи, Мин. р-н, 22–24 авг. 2018 г. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства ; редкол.: А. И. Чайковский (гл. ред.) [и др.]. – Самохваловичи, 2018. – С. 25–28.
11. Определение содержания нитратов в семенах, проростках, микрозелени и продукции бобовых овощных культур / А. М. Пашкевич [и др.] // Овощеводство : сб. науч. тр. / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т овощеводства. – Самохваловичи, 2020. – Т. 28. – С. 89–96.
12. Ebert, A. W. Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia / A. W. Ebert // SEAVEG 2012: regional symposium on high value vegetables in Southeast Asia: production, supply and demand, 24–26 January 2012, Chiang Mai, Thailand : proceedings / Thailand Dep. of Agriculture ; ed.: R. Holmer [et al.]. – Thailand, 2012. – P. 216–227.

13. Микрозелень, или система земледелия без почвы / М. И. Иванова [и др.] // Гавриш. – 2016. – № 6. – С. 34–42.
14. Renna, M. Book review: Microgreens: novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity / M. Renna // *South Afr. J. of Botany*. – 2016. – Vol. 106. – P. 250. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.05.002>
15. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces / E. Pinto [et al.] // *J. of Food Comp. a. Analysis*. – 2015. – Vol. 37. – P. 38–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>
16. Ghoora, M. D. Comparative evaluation of phytochemical content, antioxidant capacities and overall antioxidant potential of select culinary microgreens / M. D. Ghoora, A. C. Haldipur, N. Srividya // *J. of Agriculture a. Food Research*. – 2020. – Vol. 2. – Art. 100046. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100046>
17. 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.] // *Current Developments in Nutrition*. – 2020. – Vol. 5, № 2. – P. 1–12. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa180>
18. Singh, N. Cruciferous microgreens: growing performance and their scope as super foods at high altitude locations / N. Singh, S. Rani, A. Mishra // *Progressive Horticulture*. – 2019. – Vol. 51, № 1. – P. 41–44. <https://doi.org/10.5958/2249-5258.2019.00004.6>
19. Evaluation of the bioaccessibility of antioxidant bioactive compounds and minerals of four genotypes of Brassicaceae microgreens / B. de la Fuente [et al.] // *Foods*. – 2019. – Vol. 8, N 7. – Art. 250. <https://doi.org/10.3390/foods8070250>
20. Functional quality in novel food sources: genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species / M. C. Kyriacou [et al.] // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 277. – P. 107–118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.098>
21. Intensity of sole-source light-emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microgreens / C. Jones-Baumgardt [et al.] // *HortScience*. – 2019. – Vol. 54, № 7. – P. 1168–1174. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI13788-18>
22. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting / Q. Ying [et al.] // *Scientia Horticulturae*. – 2020. – Vol. 259. – Art. 108857. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108857>
23. Sprouts and microgreens: trends, opportunities, and horizons for novel research / A. Galieni [et al.] // *Agronomy*. – 2020. – Vol. 10, № 9. – Art. 1424. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424>
24. Teng, J. The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits-an updated review based on microgreens / J. Teng, P. Liao, M. Wang // *Food & Function*. – 2021. – Vol. 12, № 5. – P. 1914–1932. <https://doi.org/10.1039/d0fo03299a>
25. Meng, Q. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale / Q. Meng, N. Kelly, E. S. Runkle // *Environmental a. Experimental Botany*. – 2019. – Vol. 162. – P. 383–391. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.016>
26. Влияние узкополосного красно-синего освещения на пигментный комплекс некоторых декоративных растений / А. А. Анисимов [и др.] // Докл. ТСХА. – 2015. – Вып. 287, ч. 1. – С. 9–12.
27. Оптимизация светодиодной системы освещения витаминной космической оранжереи / И. О. Коновалова [и др.] // *Авиакосм. и экол. медицина*. – 2016. – Т. 50, № 3. – С. 17–22.
28. A review on the effects of light-emitting diode (LED) light on the nutrients of sprouts and microgreens / X. Zhang [et al.] // *Trends in Food Science & Technology*. – 2020. – Vol. 99. – P. 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.031>
29. Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens / A. Lobiuc [et al.] // *Molecules*. – 2017. – Vol. 22, № 12. – Art. 2111. <https://doi.org/10.3390/molecules22122111>
30. Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse / A. Brazaitytė [et al.] // *Acta Horticulturae*. – 2018. – № 1227. – P. 507–516. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1227.64>
31. Comparison of LED and HPS illumination effects on cultivation of red pak choi microgreens under indoors and greenhouse conditions / A. Brazaitytė [et al.] // *Acta Horticulturae*. – 2020. – № 1287. – P. 395–402. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2020.1287.51>
32. Kong, Y. Growth and morphology responses to narrow-band blue light and its co action with low-level UVB or green light: a comparison with red light in four microgreen species / Y. Kong, Y. Zheng // *Environmental a. Experimental Botany*. – 2020. – Vol. 178. – Art. 104189. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104189>
33. Light intensity and light quality from sole-source light-emitting diodes impact phytochemical concentrations within brassica microgreens / J. K. Craver [et al.] // *J. of the Amer. Soc. for Horticultural Science*. – 2017. – Vol. 142, № 1. – P. 3–12. <https://doi.org/10.21273/JASHS03830-16>

## 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. Manchali S., Chidambara Murthy K.N., Patil B.S. Crucial facts about health benefits of popular cruciferous vegetables. *Journal Functional Foods*, 2012, vol. 4, no. 1, pp. 94-106. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2011.08.004>
3. Heber D. Vegetables, fruits and phytoestrogens in the prevention of diseases. *Journal of Postgraduate Medicine*, 2004, vol. 50, no. 3, pp. 145-149.
4. Samuolienė G., Brazaitytė G., Viršilė A., Miliauskienė J., Vaštakaitė-Kairienė V., Duchovskis P. Nutrient levels in Brassicaceae microgreens increase under tailored light-emitting diode spectra. *Frontiers in Plant Science*, 2019, vol. 10, art. 1475. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01475>

5. Howard B.V., Kritchevsky D. Phytochemicals and cardiovascular disease. Phytochemicals and cardiovascular disease. A statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*, 1999, vol. 95, no. 11, pp. 2591-2593. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.95.11.2591>
6. Xiao Z., Rausch S. R., Sun J., Luo Y. Microgreens of Brassicaceae: genetic diversity of phytochemical concentrations and antioxidant capacity. *LWT – Food Science and Technology*, 2018, vol. 101, pp. 731-737. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.076>
7. Hacışevki A. An overview of ascorbic acid biochemistry. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 2009, vol. 38, no. 3, pp. 233-255. [https://doi.org/10.1501/Eczfak\\_0000000528](https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000528)
8. Johnson E.J. The role of carotenoids in human health. *Nutrition in Clinical Care*, 2002, vol. 5, no. 2, pp. 56-65. <https://doi.org/10.1046/j.1523-5408.2002.00004.x>
9. Edge R., McGarvey D.J., Truscott T.G. The carotenoids as anti-oxidants: a review. *Journal Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 1997, vol. 41, no. 3, pp. 189-200. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(97\)00092-4](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(97)00092-4)
10. Pashkevich A.M., Chaikovskii A., Belyaeva K.I. Microgreens as a new category of organic vegetable products. *Nauchno-innovatsionnye osnovy razvitiya otrasli ovoshchevodstva: tezisy dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, ag. Samokhvalovichi, Minskii raion, 22–24 avgusta 2018 g.* [Scientific and innovative foundations for the development of the vegetable growing industry: abstracts of reports of the International scientific and practical conference, Samokhvalovichi, Minsk district, August 22–24, 2018]. Samokhvalovichi, 2018, pp. 25-28 (in Russian).
11. Pashkevich A.M., Chaikovskii A.I., Dosina-Dubeshko E.S., Medved' N.V. Determination of nitrate content in seeds, seedlings, microgreens and products of leguminous vegetable crops. *Ovoshchevodstvo: sbornik nauchnykh trudov* [Vegetable Growing: collection of scientific papers]. Minsk, 2020, vol. 28, pp. 89-96 (in Russian).
12. Ebert A.W. Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia. *SEAVEG 2012: regional symposium on high value vegetables in Southeast Asia: production, supply and demand, 24–26 January 2012, Chiang Mai, Thailand: proceedings*. Thailand, 2012, pp. 216-227.
13. Ivanova M.I., Kashleva A.I., Mikhailov V.V., Bukharov A.F., Baleev D.N., Razin O.A. Microgreens, or a farming system without soil. *Gavrish*, 2016, no. 6, pp. 34-42 (in Russian).
14. Renna M. Book review: Microgreens: novel fresh and functional food to explore all the value of biodiversity. *South African Journal of Botany*, 2016, vol. 106, p. 250. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.05.002>
15. Pinto E., Almedida A., Aguiar A., Ferreira I. 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>
16. 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>
17. Johnson S.A., Prenni J.E., Heuberger A.L., Isweiri H., Chaparro J.M., Newman S. E., Uchanski M. E., Omerigic H.M., Michell K.A., Bunning M., Foster M.T., Thompson H.J., Weir T. L. 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, pp. 1-12. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa180>
18. Singh N., Rani S., Mishra A. Cruciferous microgreens: growing performance and their scope as super foods at high altitude locations. *Progressive Horticulture*, 2019, vol. 51, no. 1, pp. 41-44. <https://doi.org/10.5958/2249-5258.2019.00004.6>
19. Fuente B. de la, López-García G., Mañez V., Alegria 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>
20. Kyriacou M., El-Nakhel C., Graziani G., Pannico A., Soteriou G.A., Giordano M., Ritieni A., De Pascale S., Roup-hael Y. Functional quality in novel food sources: genotypic variation in the nutritive and phytochemical composition of thirteen microgreens species. *Food Chemistry*, 2019, vol. 277, pp. 107-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.098>
21. Jones-Baumgardt C., Llewellyn D., Ying Q., Zheng Y. Intensity of sole-source light-emitting diodes affects growth, yield, and quality of Brassicaceae microgreens. *HortScience*, 2019, vol. 54, no. 7, pp. 1168-1174. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI113788-18>
22. Ying Q., Kong Y., Jones-Baumgardt C., Zheng Y. Responses of yield and appearance quality of four Brassicaceae microgreens to varied blue light proportion in red and blue light-emitting diodes lighting. *Scientia Horticulturae*, 2020, vol. 259, art. 108857. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108857>
23. Galieni A., Falcinelli B.G., Stagnari F., Datti A., Benincasa P. Sprouts and microgreens: trends, opportunities, and horizons for novel research. *Agronomy*, 2020, vol. 10, no. 9, art. 1424. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091424>
24. Teng J., Wang M., Liao P. The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits-an updated review based on microgreens. *Food & Function*, 2021, vol. 12, no. 5, pp. 1914-1932. <https://doi.org/10.1039/d0fo03299a>
25. Meng Q., Kelly N., Runkle E.S. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. *Environmental and Experimental Botany*, 2019, vol. 162, pp. 383-391. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.03.016>
26. Anisimov A.A., Yakovleva O.S., Gritsenko L.A., Fattakhova N.K., Tarakanov I.G. Effect of narrow-band red-blue light on the pigment complex of some ornamental plants. *Doklady TSKhA* [Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy], 2015, iss. 287, pt. 1, pp. 9-12 (in Russian).
27. 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 a light-emitting diode-based illumination system

of a vitamin space greenhouse. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina = Aerospace and Environmental Medicine*, 2016, vol. 50, no. 3, pp. 17-22 (in Russian).

28. Zhang X., Bian Z., Yuan X., Chen X. 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>

29. Lobiuc A., Vasilache V., Oroian M., Stoleru T., Burducea M., Pintilie O., Zamfirache M. M. Blue and red LED illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. *Molecules*, 2017, vol. 22, no. 12, art. 2111. <https://doi.org/10.3390/molecules22122111>

30. Brazaitytė A., Vaštakaitė V., Viršilė A., Jankauskienė J., Samuolienė G., Sakalauskienė S., Noviškovas A., Miliuskienė 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>

31. Brazaitytė A., Vaštakaitė V., Jankauskienė J., Viršilė A., Samuolienė G., Sakalauskienė S., Noviškovas A., Miliuskienė J., Duchovskis P. Comparison of LED and HPS illumination effects on cultivation of red pak choi microgreens under indoors and greenhouse conditions. *Acta Horticulturae*, 2020, no. 1287, pp. 395-402. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2020.1287.51>

32. Kong Y., Zheng Y. Growth and morphology responses to narrow-band blue light and its co action with low-level UVB or green light: a comparison with red light in four microgreen species. *Environmental and Experimental Botany*, 2020, vol. 178, art. 104189. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104189>

33. 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>

### Информация об авторах

*Пашкевич Анна Михайловна* – аспирант, заведующий сектором бобовых овощных культур, Институт овощеводства Национальной академии наук Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, аг. 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 Национальной академии наук Беларуси (ул. Ковалева, 2, 223013, аг. Самохваловичи, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). E-mail: director@belniio.by

*Рупасова Жанна Александровна* – член-корреспондент НАН 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

*Василевская Тамара Ивановна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории химии растений, Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (ул. Сурганова, 2В, 220012, Минск, Республика Беларусь). E-mail: t.vasileuskaya@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

### Information about the authors

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

*Andrey I. Tchaikovsky* – Ph. D. (Agricultural), Associate Professor, Institute of Vegetable Growing of the National Academy of Sciences of Belarus (2, Kovaleva Str., 223013, agro-town Samokhvalovichi, 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. (Biological), Professor, Head of the Laboratory of Plant Chemistry, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: j.rupasova@cbg.org.by

*Tamara I. Vasilevskaya* – Ph. D. (Biological), Senior Researcher of the Laboratory of Plant Chemistry, Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2B, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: t.vasileuskaya@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, Surganova 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, Surganova Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.zadala@cbg.org.by