УДК 634.737:581.5:581.522.4(476)

ВЛИЯНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА СОСТОЯНИЕ ПИГМЕНТНОГО ФОНДА ПЛАСТИД МИКРОЗЕЛЕНИ ГОРОХА ОВОЩНОГО

***А. М. ПАШКЕВИЧ*[1]*, А. И. ЧАЙКОВСКИЙ*[1]*, Ж. А. РУПАСОВА*[2]*, В. С. ЗАДАЛЯ*[2]**

[1]*Институт овощеводства, Национальная академия наук Беларуси,*
ул. Ковалёва, 2, 223013, а/г Самохваловичи, Минская обл., Беларусь,
[2]*Центральный ботанический сад, Национальная академия наук Беларуси,*
ул. Сурганова, 2в, 220012, Минск, Беларусь

Приведены результаты исследования продолжительности светодиодного освещения (8, 10, 12, 14, 16 ч) при выращивании микрозелени гороха овощного в условиях светокультуры в фитотроне, оснащенном облучательной фитоустановкой стеллажного типа *FLORA LED 300/2/4* с десятью светодиодными светильниками *ДСП08−3х12−004 УХЛ4,* на содержание в образцах производимой продукции фотосинтезирующих пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, ß-каротина и ксантофиллов). Установлено, что наиболее выраженная активизация накопления и зеленых, и желтых пластидных пигментов в микрозелени гороха овощного, соответственно, на 12–19 % и 33 % по сравнению с контролем (12-часовая экспозиция), установлена при 14- и 16-часовом освещении, способствовавшем увеличению содержания ß-каротина на 51 и 33 %, тогда как 8-часовое освещение обусловливало активизацию накопления последнего лишь на 12 % при отсутствии достоверного влияния на темпы его биосинтеза 10-часового освещения. При 14- и 16-часовой экспозиции обнаружено наиболее значительное в эксперименте обогащение микрозелени гороха ксантофиллами на 27 и 33 % по сравнению с контролем. В соответствии со снижением содержания пластидных пигментов в микрозелени гороха обозначена следующая последовательность вариантов опыта с разной продолжительностью освещения:

14 ч > 16 ч > 8 ч > 12 ч > 10 ч.

Установлено, что наиболее насыщенным фондом фотосинтезирующих пигментов в рамках эксперимента характеризовались образцы микрозелени при 16- и особенно при 14-часовой продолжительности светодиодного освещения, тогда как наиболее обедненным – при 8- и особенно при 10-часовой продолжительности.

Ключевые слова: горох овощной; микрозелень; продолжительность светодиодного освещения; хлорофиллы; каротиноиды.

Образец цитирования:
Пашкевич АМ, Чайковский АИ, Рупасова ЖА, Задаля ВС. Влияние продолжительности светодиодного освещения на состояние пигментного фонда пластид микрозелени гороха овощного. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология.* 2022;2:75–80.
https://doi.org//10.46646/2521-683X/2022-2-75-80

For citation:
Pashkevich HM, Tchaikovsky AI, Rupasova ZhA, Zadalia VS. Influence of the duration of led lighting on the state of the pigment fund of plas-tids of vegetable pea microgreen. *Journal of the Belarusian State University. Ecology.* 2022;2:75–80. Russian.
https://doi.org//10.46646/2521-683X/2022-2-75-80

Авторы:
Анна Михайловна Пашкевич – аспирант; заведующий сектором бобовых овощных культур.
Андрей Иванович Чайковский – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; директор Института овощеводства.
Жанна Александровна Рупасова – доктор биологических наук, профессор; член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси; заведующий лабораторией химии растений.
Виктория Сергеевна Задаля – научный сотрудник лаборатории химии растений.

Authors:
Hanna M. Pashkevich, graduate student; head of the legume vegetable crops sector.
faba@belniio.by
Andrey I. Tchaikovsky, PhD (agriculture), docent; director, Institute of Vegetable Growing.
director@belniio.by
Zhanna A. Rupasova, doctor of science (biology), full professor; corresponding member of the National Academy of Sciences of Belarus; head of the laboratory of plant chemistry.
j.rupasova@cbg.org.by
Viktoriya S. Zadalia, researcher of the laboratory of plant chemistry.
zada@mail.ru

Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2022;2:75–80
Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2022;2:75–80

INFLUENCE OF THE DURATION OF LED LIGHTING ON THE STATE OF THE PIGMENT FUND OF PLASTIDS OF VEGETABLE PEA MICROGREEN

H. M. PASHKEVICH[a], *A. I. TCHAIKOVSKY*[a], *Zh. A. RUPASOVA*[b], *V. S. ZADALIA*[b]

[a]*The Institute of Vegetable Growing, National Academy of Sciences of Belarus,*
2 Kavaliova Street, ag. Samakhvalavichy 223013, Minsk region, Belarus,
[b]*Central Botanical Garden, National Academy of Sciences of Belarus,*
2v Surhanava Street, Minsk 220012, Belarus
Corresponding author: Zh. A. Rupasova (j.rupasova@cbg.org.by)

The article presents the results of a study of the duration of LED lighting (8, 10, 12, 14, 16 hours) when growing vegetable pea microgreens under light culture conditions in a phytotron equipped with an irradiating rack-type plant *FLORA LED 300/2/4* with ten LED lamps *DSP08−3x12− 004 UHL4*, for the content of photosynthetic pigments (chlorophylls a and b, ß-carotene and xanthophylls) in the samples of manufactured products. It was found that the most pronounced activation of the accumulation of both green and yellow plastid pigments in vegetable pea microgreens – by 12–19 % and 33 %, respectively, compared with the control (12-hour exposure), was established at 14- and 16-hour illumination, which contributed to an increase in the content of ß-carotene by 51 and 33 %, while 8-hour illumination caused the activation of the accumulation of the latter by only 12 % in the absence of a significant effect on the rate of its biosynthesis of 10-hour illumination. At 14- and 16-hour exposure, the most significant enrichment of pea microgreens with xanthophylls was found in the experiment by 27 and 33 % compared with the control. In accordance with the decrease in the content of plastid pigments in pea microgreens, the following sequence of experiment variants with different illumination durations is indicated:

14 hours > 16 hours > 8 hours > 12 hours > 10 hours.

It was found that the most saturated stock of photosynthetic pigments in the experiment was characterized by microgreen samples at 16 and especially at 14-hour duration of LED lighting, while the most depleted – at 8- and especially at 10-hour duration.

Keywords: vegetable peas; microgreens; LED lighting duration; chlorophylls; carotenoids.

Введение

В последние годы существенно увеличился спрос населения Республики Беларусь на продукцию микрозелени овощных культур, в том числе гороха овощного как источника широкого спектра полезных веществ. Вместе с тем значительную роль при ее выращивании в условиях закрытой контролируемой среды играет уровень освещения, являющийся сигналом к росту и развитию растений и одновременно источником энергии для реализации метаболических процессов [1]. При этом ответная реакция растительного организма при адаптации к условиям световой среды проявляется не только в изменениях морфофизиологических показателей, но и в перестройке его светособирающего комплекса [2]. Наиболее важными характеристиками светового режима являются спектральный состав и плотность потока фотонов (интенсивность излучения), но особенно важна продолжительность освещения (фотопериод), играющая первостепенную роль в накоплении фитомассы и синтезе вторичных метаболитов [3].

В мировой практике при производстве микрозелени овощных культур широко используются искусственные источники освещения – светодиоды. Однако видоспецифичный и даже сортоспецифичный характер требований культиваров к условиям освещения обусловил необходимость в проведении исследований по оптимизацию их светового режима, обеспечивающего высокие биопродукционные и биохимические характеристики конечной продукции [4−9]. Тем не менее в зарубежной научной литературе информация по данному вопросу носит весьма ограниченный характер, а в отечественной она отсутствует вовсе.

На наш взгляд, важнейшим критерием ответной реакции растений на условия освещения является характер соответствующих изменений в пигментном комплексе пластид ассимилирующих органов. С целью установления влияния продолжительности светодиодного освещения на основные характеристики фонда фотосинтезирующих пигментов микрозелени гороха овощного, в 2020−2021 гг. в РУП «Институт овощеводства» был проведен производственный эксперимент при ее выращивании в условиях светокультуры в фитотроне.

Материалы и методы исследований

Исследования выполнялись в рамках производственного эксперимента с микрозеленью гороха овощного (сорт Павлуша) селекции РУП «Институт овощеводства». Предварительно были определены лабораторная всхожесть и энергия прорастания отобранных семян для исключения возможности использования посевного материала с низкими кондиционными показателями: установленная всхожесть

находилась на уровне 98 %, энергия прорастания – на уровне 97 %. Посевной материал гороха овощного промывался и выдерживался в отстоянной воде в течение 12 ч со следующими характеристиками: температура + 22 °С, pH 7,7, содержание хлора не более 1,1 мг/л. Перед посевом семена дезинфицировались 3%-ным раствором перекиси водорода и снова промывались водой. Посев микрозелени гороха овощного выполнялся сплошным методом из расчета 600 шт. семян на делянку. Полив проводился через сутки по 60 мл на делянку отстоянной водопроводной водой ранее указанных характеристик.

Культивирование микрозелени осуществлялось в полипластовых поддонах (179×132 мм, объемом 750 мл), простерилизованных 96 % этиловым спиртом. В качестве грунта для выращивания использовался подготовленный торфяной субстрат, проавтоклавированный в паровом автоклаве ВК-75-01 при следующем режиме: время стерилизационной выдержки 20 мин, температура132 ± 2 °С и давление 0,1 МПа. Опыты закладывались в трехкратной повторности в три цикла выращивания. Расположение делянок выбрано рендомизированное, размер одной делянки составлял 237 см^2, площадь под одним вариантом соответсвовала 0,4 м^2.

Выращивание опытных растений осуществлялось в условиях светокультуры с использованием фотоустановки стеллажного типа *FLORA LED 300/2/4*, оснащенной десятью светодиодными светильниками *ДСП08-3х12-004 УХЛ4* (разработка и производство ГНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси»). Опытная продолжительность освещения составляла 8, 10, 12, 14 и 16 ч; в качестве контроля было принято значение фотопериода, равное 12 ч.

Определение содержания фотосинтезирующих пигментов в образцах микрозелени гороха осуществляли в лаборатории химии растений Центрального ботанического сада НАН Беларуси с использованием следующих методов: в свежих усредненных пробах растительного материала определяли содержание хлорофиллов *a* и *b* по методу Т. Н. Годнева [10, 11], *β*-каротина и суммы каротиноидов – по ГОСТ 8756.22-80[1]; сухих веществ – по ГОСТ 31640-2012[2].

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*.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты повариантного исследования состояния фонда фотосинтезирующих пигментов в микрозелени гороха овощного при разной продолжительности светодиодного освещения, приведенные в табл. 1, показали, что суммарное содержание хлорофиллов в ее сухой массе изменялось в диапазоне 608,5–757,0 мг/100 г, в том числе хлорофилла *a* – 417,5–533,1 мг/100 г, хлорофилла *b* – 191,1–223,9 мг/100 г. При этом суммарное содержание желтых пластидных пигментов в сухом веществе микрозелени варьировалось в рамках эксперимента от 143,8 до 191,5 мг/100 г, в том числе *β*-каротина – от 32,9 до 49,8 мг/100 г, ксантофиллов – от 110,9 до 147,8 мг/100 г. При этом максимальные показатели накопления и зеленых, и желтых фотосинтезирующих пигментов были достигнуты при 16- и особенно при 14-часовой экспозициях, тогда как минимальные при 8- и особенно 10-часовой.

Заметим, что продолжительность светодиодного освещения не оказала существенного влияния на производные характеристики пигментного фонда пластид, что подтверждалось сравнительной узостью диапазонов варьирования соотношений количеств хлорофиллов а и *b*, а также хлорофиллов и каротиноидов, соответствовавших значениям 2,2–2,5 и 3,7–4,4. Что касается соотношения количеств *β*-каротина и ксантофиллов, то, независимо от продолжительности освещения, оно было весьма стабильным в рамках эксперимента и не превышало 0,3–0,4, что указывало на приоритетную роль ксантофиллов в формировании пула желтых пигментов.

Как и следовало ожидать, сравнение исследуемых характеристик пигментного фонда пластид микрозелени гороха при разной продолжительности светодиодного освещения вывило существенные различия как в содержании, так и в соотношении его основных компонентов (табл. 2). При этом наиболее выраженная активизация накопления и зеленых, и желтых пигментов установлена при 14- и 16-часовой экспозициях. Это подтверждалось весьма заметным превышением контрольного уровня общего содержания данных компонентов пигментного комплекса в соответствующих вариантах опыта на 12–19 и 33 %. При этом 8-часовая продолжительность освещения не оказала достоверного влияния на общее содержание хлорофиллов и лишь незначительно (не более чем на 6 %) увеличила таковое каротиноидов, тогда как 10-часовая обусловила даже некоторое (не более чем на 4 %) обеднение микрозелени гороха зелеными пигментами по сравнению с контролем исключительно за счет ослабления биосинтеза хлорофилла *a* при крайне слабой активизации такового желтых пигментов.

[1]ГОСТ 8756.22-80. Продукты переработки плодов и овощей. Метод определения каротина. Введ. 01.01.81. Дата последнего изменения 13.07.2017. Москва: Изд-во стандартов, 2010. 6 с.
[2]ГОСТ 8756.2-82. Методы определения сухих веществ. Введен 01.01.1983. Москва: Изд-во стандартов, 1982. 5 с.

Таблица 1

Содержание хлорофиллов и каротиноидов (мг на 100 г сухой массы) в микрозелени гороха овощного при разной продолжительности светодиодного освещения

Table 1

The content of chlorophylls and carotenoids (mg per 100 g dry weight) in vegetable pea microgreens at different durations of LED lighting

Продолжительность освещения	Хлорофиллы							
	a		*b*		*a+b*		*a/b*	
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*
12 ч – Контроль	438,0 ± 1,6		196,0 ± 2,7		634,0 ± 4,3		2,2 ± 0,1	
8 ч	443,4 ± 1,2	2,2	197,5 ± 1,0	0,5	640,9 ± 1,6	1,5	2,2 ± 0,1	0,4
10 ч	417,5 ± 0,5	–12,3*	191,1 ± 1,9	–1,5	608,5 ± 2,4	–5,2*	2,2 ± 0,1	–1,7
14 ч	533,1 ± 0,5	56,8*	223,9 ± 2,6	7,5*	757,0 ± 3,0	23,5*	2,4 ± 0,1	4,4*
16 ч	506,1 ± 0,2	42,3*	200,7 ± 1,1	1,6	706,8 ± 1,2	16,4*	2,5 ± 0,1	11,1*

	Каротиноиды								Хлорофиллы/ Каротиноиды	
	сумма		*β*-каротин		ксантофиллы		*β*-каротин/ксантоф			
	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	*t*
12 ч – Контроль	143,8 ± 0,1		32,9 ± 0,1		110,9 ± 0,1		0,3 ± 0,01		4,4 ± 0,1	
8 ч	153,0 ± 0,3	29,3*	36,9 ± 0,4	8,9*	116,1 ± 0,1	37,0*	0,3 ± 0,01	1,2	4,2 ± 0,1	–6,1*
10 ч	148,4 ± 1,1	4,1*	33,1 ± 0,6	0,3	115,4 ± 1,5	3,0*	0,3 ± 0,01	–1,2	4,1 ± 0,1	–7,5*
14 ч	191,1 ± 3,4	14,1*	49,8 ± 0,6	26,9*	141,3 ± 3,8	8,0*	0,4 ± 0,01	4,4*	4,0 ± 0,1	–5,2*
16 ч	191,5 ± 2,9	16,4*	43,7 ± 0,3	35,8*	147,8 ± 2,8	13,3*	0,3 ± 0,01	–0,1	3,7 ± 0,1	–11,8*

Примечание. * – статистически значимые по *t*-критерию Стьюдента различия с контролем при $p < 0,05$.

Вместе с тем только на фоне 14- и особенно 16-часовой продолжительности освещения темпы биосинтеза хлорофилла *a* заметно превышали таковые хлорофилла *b*, что подтверждалось на 9–14 % более высокими значениями соотношения их количеств (см. табл. 2), тогда как при меньшей продолжительности освещения достоверных различий с контролем по данному признаку не выявлено.

Таблица 2

Относительные различия с контролем вариантов опыта с разной продолжительностью светодиодного освещения по содержанию хлорофиллов и каротиноидов в сухом веществе микрозелени гороха овощного, %

Table 2

Relative differences with the control of experimental variants with different durations of LED lighting in the content of chlorophylls and carotenoids in the dry matter of vegetable pea microgreens, %

Продолжительность освещения	Хлорофиллы				Каротиноиды				Хлорофиллы ÷ каротиноиды	Совокупный эффект*
	a	*b*	*a+b*	*a÷b*	сумма	*β*-каротин	ксантофиллы	*β*-карот.÷ ксантофиллы		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8 ч	–	–	–	–	+6,4	+12,2	+4,7	–	–4,5	+23,3
10 ч	–4,7	–	–4,0	–	+3,2	–	+4,1	–	–6,8	–1,4
14 ч	+21,7	+14,2	+19,4	+9,1	+32,9	+51,4	+27,4	+33,3	–9,1	+167,0
16 ч	+15,5	–	+11,5	+13,6	+33,2	+32,8	+33,3	–	–15,9	+126,3

Примечание. Прочерк (–) означает отсутствие статистически значимых по *t*-критерию Стьюдента различий с контролем при $p < 0,05$;
* – совокупный эффект установлен путем сложения данных столбцов 2, 3, 4, 6, 7 и 8, с учетом их знака.

Наиболее выраженное позитивное влияние исследуемого фактора на содержание в микрозелени гороха ß-каротина установлено при 14- и 16-часовой экспозициях, что подтверждалось увеличением его содержания соответственно на 51 и 33 % по сравнению с контролем. При этом 8-часовое освещение обусловливало активизацию накопления данного порфирина лишь на 12 % при отсутствии достоверного влияния на темпы его биосинтеза 10-часового освещения.

Что касается ксантофиллов, то 14- и 16-часовая продолжительность освещения способствовала усилению их накопления на 27–33 % по сравнению с контролем при весьма незначительном, причем идентичном, увеличении их содержания не более чем на 4–5 % при 8- и 10-часовом освещении. Но несмотря на различия ответной реакции компонентов каротиноидного комплекса микрозелени гороха на продолжительность светодиодного освещения, их соотношение характеризовалось выраженной стабильностью в рамках эксперимента, и лишь при 14-часовом освещении темпы биосинтеза ß-каротина превышали таковые ксантофиллов на 33 % по сравнению с контролем.

Показанные выше особенности трансформации пигментного фонда микрозелени гороха под действием исследуемого фактора, в свою очередь, обусловили усиление в нем роли желтых пластидных пигментов, нарастающее с увеличением продолжительности освещения, что подтверждалось отставанием от контроля на 5–16 % соотношения количеств хлорофиллов и каротиноидов (см. табл. 2). На наш взгляд, это могло быть связано с особой защитной функцией последних, предохраняющих светочувствительные хлорофиллы от фотодинамических повреждений.

Таким образом, выявленные межвариантные различия в составе пигментного комплекса пластид микрозелени гороха свидетельствовали о существенном влиянии на него исследуемого фактора. С целью выявления продолжительности светодиодного освещения, обеспечивающей максимальную и минимальную степень изменения темпов биосинтеза фотосинтезирующих пигментов относительно контроля, для каждого варианта опыта были определены суммарные значения относительных размеров положительных и отрицательных различий с последним по общему количеству хлорофиллов и каротиноидов, а также содержанию основных форм данных пигментов. Возвращаясь к табл. 2, нетрудно убедиться в том, что наиболее высокие значения совокупности обозначенных признаков, на 126 и 167 % превышавшие контрольный уровень, были установлены при 16- и особенно 14-часовой экспозициях, свидетельствующие о наибольшей насыщенности фотосинтезирующими пигментами ассимиляционного аппарата микрозелени гороха в этих вариантах опыта. В соответствии со снижением данного показателя, указывающим на обеднение ее пигментного фонда пластид, а следовательно, и ослабление фотосинтетической функции, было проведено распределение вариантов опыта следующим образом:

$$14\ ч > 16\ ч > 8\ ч > 12\ ч > 10\ ч.$$

Таким образом, наиболее насыщенным фондом фотосинтезирующих пигментов в рамках эксперимента характеризовались образцы микрозелени гороха овощного при 16- и особенно при 14-часовой продолжительности светодиодного освещения, тогда как наиболее обедненным – при 8- и особенно при 10-часовой продолжительности.

Заключение

В результате исследования влияния продолжительности светодиодного освещения (8, 10, 12, 14, 16 ч) на содержание фотосинтезирующих пигментов (хлорофиллов *a* и *b*, *β*-каротина и ксантофиллов) в образцах микрозелени гороха овощного (сорт Павлуша) наиболее выраженная активизация накопления и зеленых, желтых пластидных пигментов установлена при 14- и 16-часовом освещении, способствовавшем увеличению содержания *β*-каротина, тогда как 8-часовое освещение обусловливало лишь незначительную активизацию его накопления при отсутствии достоверного влияния на темпы его биосинтеза 10-часового освещения. При этом 14- и 16-часовые экспозиции обусловливали наиболее значительное в эксперименте обогащение микрозелени гороха ксантофиллами по сравнению с контролем. Показано, что наиболее насыщенным фондом фотосинтезирующих пигментов в рамках эксперимента характеризовались образцы микрозелени гороха овощного при 16- и особенно при 14-часовой продолжительности светодиодного освещения, тогда как наиболее обедненным – при 8- и особенно при 10-часовой продолжительности.

Библиографические ссылки

1. Meng Q, Kelly N, Runkle ES. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. *Environmental and Experimental Botany.* 2019;162:383−391.

2. Анисимов АА. Влияние узкополосного красно-синего освещения на пигментный комплекс некоторых декоративных растений. В: Перспективы развития АПК в работах молодых ученых. Материалы региональной научно-практической конференции молодых ученых. Тюмень, 5 февраля 2014 г. Тюмень: [б. и.]; 2014. с. 8–12.

3. Оптимизация светодиодной системы освещения витаминной космической оранжереи. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2016;50(3):17−23.

4. 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;99:1−15.

5. Andrei Z, Vasilache V, Pintilie O, et al. Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. *Stoleru T. Molecules.* 2017;22(2111):1−14.

6. Brazaitytė A, Vaštakaitė-Kairienė V, Viršilė A. Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse. *Acta Horticulturae.* 2018;1227:507−516.

7. Brazaitytė A. Comparison of LED and HPS illumination effects on cultivation of red pak choi microgreens under indoors and greenhouse conditions. *Istanbul, Turkey: 30th International Horticultural Congress.* 2020;1287:395−402.

8. 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;178(104189):1−11.

9. Craver J, Gerovac J, Lopez R, et al. 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;142(1):3−12.

10. Годнев ТН. *Хлорофилл: его строение и образование в растении.* Минск: Издательство Академии наук БССР; 1963. 318 с.

11. Кахнович ЛВ. *Фотосинтез. Методические рекомендации к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной работы и контроля знаний студентов.* Минск: Издательство Белорусского государственного университета; 2003. 88 с.

References

1. Meng Q, Kelly N, Runkle ES. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale. *Environmental and Experimental Botany.* 2019;162:383−391.

2. Anisimov AA. *Vliyaniye uzkopolosnogo krasno-sinego osveshcheniya na pigmentnyy kompleks nekotorykh dekorativnykh rasteniy* [Influence of narrow-band red-blue lighting on the pigment complex of some ornamental plants]. In: *Perspektivy razvitiya APK v rabotakh molodykh uchenykh. Materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchonykh. Tyumen', 5 fevralya 2014 g.* Tyumen: [publisher unknown]; 2014. p. 8–12. Russian.

3. *Optimizatsiya svetodiodnoy sistemy osveshcheniya vitaminnoy kosmicheskoy oranzherei* [Optimization of the LED lighting system of the vitamin space greenhouse]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2016;50(3):17−23. Russian.

4. 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;99:1−15.

5. Andrei Z, Vasilache V, Pintilie O, et al. Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens. *Stoleru T. Molecules.* 2017;22(2111):1−14.

6. Brazaitytė A, Vaštakaitė-Kairienė V, Viršilė A. Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse. *Acta Horticulturae.* 2018;1227:507−516.

7. Brazaitytė A. Comparison of LED and HPS illumination effects on cultivation of red pak choi microgreens under indoors and greenhouse conditions. *Istanbul, Turkey: 30th International Horticultural Congress.* 2020;1287:395−402.

8. 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;178(104189):1−11.

9. Craver J, Gerovac J, Lopez R, et al. 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;142(1):3−12.

10. Godnev TN. *Khlorofill: yego stroyeniye i obrazovaniye v rastenii* [Chlorophyll: its structure and formation in a plant]. Minsk: Izdatelstvo Akademii nauk BSSR; 1963. 318 p. Russian.

11. Kakhnovich LV. *Fotosintez. Metodicheskiye rekomendatsii k laboratornym zanyatiyam, zadaniya dlya samostoyatel'noy raboty i kontrolya znaniy studentov* [Photosynthesis. Guidelines for laboratory studies, assignments for independent work and control of students' knowledge]. Minsk: Izdatelstvo BGU; 2003. 88 p. Russian.

Статья поступила в редколлегию 23.03.2022.
Received by editorial board 23.03.2022.