

**А. М. Пашкевич**<sup>1</sup>, аспирант, заведующий сектором бобовых овощных культур

**А. И. Чайковский**<sup>1</sup>, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор

**Ж. А. Рупасова**<sup>2</sup>, член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, заведующий лабораторией химии растений

**Ю. В. Трофимов**<sup>3</sup>, кандидат технических наук, директор

<sup>1</sup> РУП «Институт овощеводства», аг. Самохваловичи, Минский район

<sup>2</sup> ГНУ «Центральный ботанический сад НАН Беларуси», г. Минск

<sup>3</sup> РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси», г. Минск

## **ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА ПРОДУКЦИОННО-БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОЗЕЛЕНИ ГОРОХА ОВОЩНОГО**

### **РЕЗЮМЕ**

*Приведены результаты исследования продукционно-биометрических показателей гороха овощного в культуре микрозелени в зависимости от интенсивности светодиодного освещения – 50, 100, 150, 200 и 250 мкмоль/м<sup>2</sup>·с. Установлена существенная зависимость количественных характеристик исследуемых признаков (длина, ширина, индекс, площадь листочка, площадь совокупной листовой поверхности, длина проростка и фитомасса с делянки) от интенсивности светодиодного освещения. Лидирующее положение в эксперименте по интегральному уровню продукционно-биометрических показателей микрозелени гороха принадлежало варианту опыта с 100 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещением. При этом варианты с 250, 50 и 150 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещением уступали лидирующему варианту опыта в 1,7, 1,6 и 1,3 раза соответственно, что позволило признать их неэффективными.*

*Ключевые слова:* микрозелень; горох овощной; светодиодное освещение; интенсивность светодиодного освещения; биометрические показатели; фитомасса.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы существенно увеличился спрос населения республики 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, продолжительность освещения (фотопериод), но особенно важна плотность потока фотонов (интенсивность излучения), 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 проведения исследований по оптимизации 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 биометрическом и продукционном плане. С целью установления влияния интенсивности светодиодного освещения на основные ростовые характеристики и накопление фитомассы в культуре микрозелени гороха овощного в 2022 г. в РУП «Институт овощеводства» был проведен производственный эксперимент при ее выращивании в условиях светокультуры в закрытых контролируемых условиях в растительной комнате.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Исследования выполнялись на образцах микрозелени гороха овощного (сорт Павлуша), семена которого отбирались из существующей коллекции генетических ресурсов овощных культур РУП «Институт овощеводства». Предварительно были определены лабораторная всхожесть и энергия прорастания отобранных семян лабораторным методом для исключения фактора использования посевного материала с низкими кондиционными показателями. Установленная всхожесть находилась на уровне 95–98 %, энергия прорастания – 93–97 %. Посевной материал гороха овощного промывался и выдерживался в отстоянной воде (комнатной температуры +22 °С, рН – 7,7, содержание хлора – не более 1,1 мг/л) в течение 12 часов. Перед посевом семена дезинфицировались 3 %-м раствором перекиси водорода и снова промывались, посев выполнялся сплошным методом из расчета 120 шт. семян на делянку. Полив осуществлялся через сутки по 60 мл на делянку отстоянной водопроводной водой ранее указанных характеристик.

Культивирование микрозелени проводилось в полипластовых поддонах (179×132 мм, объемом 750 мл), стерилизуемых 96 %-м этиловым спиртом. В качестве грунта для выращивания использовался подготовленный торфяной субстрат, проавтоклавированный в паровом автоклаве ВК-75-01 (время

стерилизационной выдержки – 20 мин. при температуре  $132 \pm 2$  °С и давлении 0,1 МПа). Опыты закладывались в 3-кратной повторности в три цикла выращивания. Расположение делянок случайное (рэндомизированное), размер одной делянки составлял  $237 \text{ см}^2$  ( $17,9 \times 13,2 \text{ см}$ ), площадь под одним вариантом –  $0,4 \text{ м}^2$ .

Выращивание опытных растений осуществлялось в условиях светокультуры в фитотроне, оснащённом облучательной фитоустановкой стеллажного типа FLORA LED 300/2/4 разработки и производства Государственного научно-производственного унитарного предприятия «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси». Установка была оснащена десятью светодиодными светильниками ДСП08-3×12-004 УХЛ4. Растения выращивались при пяти значениях интенсивности светодиодного освещения – 50, 100, 150, 200 и 250  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ . В качестве контроля принималась интенсивность, равная 200  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ , рекомендуемая ООО «Институт Гипронисельпром» Министерства сельского хозяйства РФ в качестве оптимальной для зеленных и рассады ряда овощных культур [10].

Биометрические измерения длины и ширины листочка, подсчет индекса листочка выполнялись по общепринятой методике [11], определение площади листочков, а также площади совокупной листовой поверхности проводилось путем сканирования листовых пластин с использованием программного средства APFill Ink Toner Coverage Meter 5.8 [12]. Все измерения и определения осуществлялись в 3-кратной повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований с использованием программ Microsoft Office Excel 2007 и Statistika [13, 14].

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Повариантное исследование продукционно-биометрических показателей микрозелени гороха овощного показало существенную зависимость их количественных характеристик от интенсивности светодиодного освещения. Как следует из таблицы, длина проростка на момент сбора урожая во всех опытных образцах, выращенных с интенсивностью освещения 50, 100, 150 и 250  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ , была больше контрольного образца, выращенного при 200  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ , на 4,3; 31,7; 21,4 и 28,5 %, соответственно. Однако после проведенных опытов была установлена обратная зависимость длины проростка от численных характеристик листового аппарата, товарности и биомассы микрозелени, биохимического состава. По этой причине можно сделать вывод, что интенсивность светодиодного освещения, равная 200 и 250  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ , является избыточной, так же как и интенсивность 50  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$  является недостаточной для полноценного роста и развития растений.

Интервал относительных различий листового аппарата микрозелени гороха овощного сорта Павлуша находился в диапазоне 175,1–410,5 %. Наиболее сформированными листьями обладали растения, выращиваемые при 100  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$  интенсивности освещения, относительное различие для которых, по сравнению с контрольной интенсивностью 200  $\text{мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}$ , составило 410,5 %. Одинаковые различия, по сравнению с контролем, были отмечены

для микрозелени, выращенной при интенсивности светодиодного освещения 150 и 250 мкмоль/м<sup>2</sup>·с, а именно 258,4 и 254,3 % соответственно (табл.).

Биомасса с делянки среди исследуемых образцов, которая является продукционной характеристикой, представляет большой интерес в производственном выращивании микрозелени. Как видно из таблицы, для всех опытных образцов было характерно увеличение биомассы по сравнению с контрольным вариантом. При этом незначительное увеличение приходилось на микрозелень, выращенную при интенсивности светодиодного освещения, равной 50 мкмоль/м<sup>2</sup>·с, более существенное и практически одинаковое увеличение – на микрозелень, выращенную при 150 и 250 мкмоль/м<sup>2</sup>·с, и наиболее положительное влияние, которое выразилось в относительном различии с контрольной интенсивностью в 31,7 %, приходилось на микрозелень с режимом освещения 100 мкмоль/м<sup>2</sup>·с.

Амплитуда выявленных различий по совокупности анализируемых признаков варьировала от 193,4 при 50 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещении до 464,3 при 100 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещении, что свидетельствовало о влиянии исследуемого фактора на продукционно-биометрические показатели микрозелени, особенно во втором случае (100 мкмоль/м<sup>2</sup>·с). При этом во всех вариантах опыта в продукционно-биометрических показателях было установлено доминирование относительных размеров позитивных сдвигов над негативными, что свидетельствовало об улучшении количественных характеристик микрозелени по сравнению с контролем, в качестве которого был принят вариант с 200 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещением. Подтверждением этому могут служить также положительные значения совокупного эффекта в вариантах опыта в пределах 165,4–420,1 %. При этом в соответствии со снижением кратного размера соотношения положительных и отрицательных сдвигов в продукционно-биометрическом отношении последней относительно контроля тестируемые варианты опыта расположились следующим образом:

$$100 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с} > 200 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с} > 250 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с} > 50 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с} > 150 \text{ мкмоль/м}^2 \cdot \text{с}.$$

Таблица – Относительные размеры, амплитуды и соотношения продукционно-биометрических различий микрозелени гороха овощного на 10-е сутки выращивания при разной интенсивности светодиодного освещения с контрольной интенсивностью светодиодного освещения 200 мкмоль/м<sup>2</sup>·с

Интенсивность освещения, мкмоль/м <sup>2</sup> ·с	Относительные различия, %							
	Биомасса с м <sup>2</sup>	Длина проростка	Листовой аппарат	Положительные	Отрицательные	Амплитуда	Положительные / отрицательные	Совокупный эффект
50	+4,3	-14,0	+175,1	179,4	14,0	193,4	12,8	+165,4
100	+31,7	-22,1	+410,5	442,2	22,1	464,3	20,0	+420,1
150	+21,4	-24,4	+258,4	279,8	24,4	304,2	11,5	+255,4
250	+28,5	-17,4	+254,3	282,8	17,4	300,2	16,3	+265,4

Как видим, лидирующее положение в эксперименте по интегральному уровню продукционно-биометрических показателей микрозелени гороха, превосходившему таковой в контроле при интенсивности освещения 200 мкмоль/м<sup>2</sup>·с в 20 раз, принадлежало варианту опыта с 100 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещением. При этом варианты с 250, 50 и 150 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещением, превосходившим контрольный уровень в этом плане в 16,3, 12,8 и 11,5 раза, соответственно, уступали лидирующему варианту опыта в 1,7, 1,6 и 1,3 раза соответственно.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенного анализа была установлена существенная зависимость количественных характеристик исследуемых признаков (длина, ширина, индекс, площадь листочка, площадь совокупной листовой поверхности, длина проростка и фитомасса с делянки) от интенсивности светодиодного освещения. В эксперименте по интегральному уровню продукционно-биометрических показателей микрозелени гороха доминировал вариант опыта с 100 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещением. При этом варианты с 250, 50 и 150 мкмоль/м<sup>2</sup>·с освещением уступали лидирующему варианту опыта, что позволило признать их неэффективными.

## **Список использованных источников**

1. 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 and Experimental Botany*. – 2019. – Vol. 162. – P. 383–391.
2. Анисимов, А. А. Влияние узкополосного красно-синего освещения на пигментный комплекс некоторых декоративных растений // *Перспективы развития АПК в работах молодых ученых : сб. материалов региональной науч.-практ. конф. молодых ученых / Гос. аграр. ун-т Северного Зауралья ; редкол.: О. М. Шевелёва (гл. ред.) [и др.]*. – Тюмень : ГАУСЗ, 2014. – С. 8–12.
3. Оптимизация светодиодной системы освещения витаминной космической оранжереи // *Авиакосмическая и экологическая медицина*. – 2016. – Т. 50. – № 3. – С. 17–23.
4. 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. 1–15.
5. Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acyanic and Cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens / Z. Andrei [et al.] // *Stoleru T. Molecules*. – 2017. – Vol. 22. – № 2111. – P. 1–14.
6. Brazaitytė, A. Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse / A. Brazaitytė, V. Vaštakaitė-Kairienė, A. Viršilė // *Acta Horticulturae*. – 2018. – Vol. 1227. – P. 507–516.
7. Brazaitytė, A. Comparison of LED and HPS illumination effects on cultivation of red pak choi microgreens under indoors and greenhouse conditions / A. Brazaitytė // *Istanbul, Turkey: 30th International Horticultural Congress*. – 2020. – Vol. 1287. – P. 395–402.

8. 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 and Experimental Botany*. – 2020. – Vol. 178. – № 104189. – P. 1–11.

9. Light Intensity and Light quality from Sole-source Light-emitting Diodes Impact Phytochemical Concentrations within Brassica Microgreens / Craver J. [et al.]. // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 2017. – Vol. 142. – № 1. – P. 3–12.

10. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы / А. А. Тихомиров [и др.]. – Новосибирск : Изд. Сиб. отд. РАН, 2000. – 213 с.

11. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – М. : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

12. Дмитриев, Н. Н. Методика ускоренного определения площади листовой поверхности сельскохозяйственных культур с помощью компьютерной технологии / Н. Н. Дмитриев, Ш. К. Хуснидинов // *Вестн. КрасГАУ*. – 2016. – № 7. – С. 88–93.

13. Боровиков, В. П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов / В. П. Боровиков. – Изд. 2-е. – СПб. : Питер, 2003. – 686 с.

14. Теория вероятностей и математическая статистика. Математические модели : учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / В. Д. Мятлев [и др.]. – М. : Академия. – 2009. – 320 с.

*Поступила в редакцию 22.11.2022 г.*

**A. M. Pashkevich, A. I. Chaykovskiy, Zh. A. Rupasova, Yu. V. Trofimov**

## **EFFECT OF THE INTENSITY OF LED LIGHTING ON THE PRODUCTION AND BIOMETRIC INDICATORS OF THE MICROGREENS OF GARDEN PEAS**

### **SUMMARY**

*The results of the study of the production and biometric indicators of garden peas in the culture of microgreens, depending on the intensity of LED lighting – 50, 100, 150, 200 and 250 mcM/m<sup>2</sup>·sec are presented. A significant dependence of the quantitative characteristics of the studied features (length, width, index, leaf area, total leaf surface area, sprout length and phytomass from the plot) has been established depending on the intensity of LED lighting. The leading position in the experiment on the integral level of production and biometric indicators of microgreens of garden peas belonged to the variant with 100 mcM/m<sup>2</sup>·sec lighting. At the same time, the variants with 250, 50 and 150 mcM/m<sup>2</sup>·sec illumination were inferior to the leading variant by 1.7, 1.6 and 1.3 times, respectively, which allowed them to be recognized as ineffective.*

*Key words:* microgreens; garden peas; LED lighting; intensity of LED lighting; biometric indicators; phytomass.