

А. М. Пашкевич, аспирант, заведующий сектором бобовых овощных культур

Е. С. Досина-Дубешко, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заместитель директора по научной работе

О. В. Соловей, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь

В. В. Халанькова, младший научный сотрудник

РУП «Институт овощеводства», аг. Самохваловичи, Минский район

ФОРМИРОВАНИЕ БИОМАССЫ МИКРОЗЕЛЕНЬЮ ГОРОХА ОВОЩНОГО *PISUM SATIVUM* L. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

РЕЗЮМЕ

Приведены результаты исследования формирования биомассы микрозеленью гороха овощного в зависимости от продолжительности светодиодного освещения (8, 10, 12, 14 и 16 часов). Установлено, что наиболее оптимальная продолжительность светодиодного освещения для формирования биомассы товарной микрозеленью – 14 часов. Наименьшим уровнем накопления биомассы (в 1,3 раза) характеризовалась микрозелень, выращиваемая при 8- и 10-часовой продолжительности светодиодного освещения и сформировавшая более вытянутые растения с менее сформированным стебле-листовым аппаратом, что снизило ее товарность. Продолжительность светодиодного освещения, равная 16 часам, являлась оптимальной для опытных растений в первую неделю, а начиная со второй недели, или с 8-х суток культивирования, приводила к снижению биосинтеза и замедлению ростовых процессов, которые проявились в виде подкручивания листочков, а также снижению товарного вида у микрозелени к моменту сбора урожая.

Ключевые слова: микрозелень, горох овощной, светодиодное освещение, продолжительность светодиодного освещения.

ВВЕДЕНИЕ

За последние 20 лет увеличился спрос на новые функциональные пищевые продукты, что вызвано повышенным интересом общества к здоровому сбалансированному питанию [1]. Потребители нуждаются в качественном продовольствии, которое сможет поддерживать здоровье населения и частично заменять лекарственные препараты, обеспечивая высокую продолжительность жизни.

Минеральное недоедание считается одной из важнейших глобальных проблем человечества, которую можно предотвратить [2]. По данным ученых, более 60 % из 7 млрд жителей нашей планеты являются Fe-дефинитивными,

более 30 % – Zn-, 15 % – Se-дефинитивными. Кроме того, в развитых и развивающихся странах распространен недостаток в пище Ca, Mg и Cu [3]. 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 [4]. 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 г. 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 [5].

Наряду с проблемами участвовавшего минерального дефицита и заболеваний, вызванных недобросовестным использованием нитратных удобрений производителями овощей, актуальны вопросы обеспечения достаточного количества пищи и воды для населения Земли, сохранения 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. 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 [6].

Новой формой производства высокоценных в белковом, минеральном и витаминном отношении растительных продуктов во всем мире стала микрозелень [7]. Она имеет огромное продовольственное значение и несет оздоровительный эффект, обеспечивая людей необходимыми для жизни биохимическими компонентами: в первую очередь белком, «медленными» углеводами с низким гликемическим индексом, витаминами группы B, C, E, K, солями фосфора, калия, кальция магния, а также биофлавоноидами [8–10].

Свет является одним из наиболее важных факторов окружающей среды для растений, так как он представляет собой не только источник энергии для фотосинтеза, но и сигнал для множества физиологических реакций. Качество света (длина волны), количество света (интенсивность) и, самое важное, продолжительность (фотопериод) – ключевые компоненты условий освещения [11]. Наиболее перспективная производственная стратегия микрозелени, гарантирующая

круглогодичное поступление данного функционального продукта потребителю на постоянной основе, заключается в использовании искусственного освещения, особенно актуального для нашей широты, обеспеченной в октябре – феврале только на 25 % от интеграла дневного света на открытом воздухе.

Исследование использования 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 [12–17]. Однако в зарубежной литературе встречается крайне ограниченное количество информации о продолжительности светодиодного освещения при выращивании микрозелени, а в отечественной литературе эти данные отсутствуют вовсе. По этой причине целью исследований стало изучение накопления биомассы микрозеленью гороха овощного в культуре микрозелени в зависимости от продолжительности светодиодного освещения.

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 (+ 22 °С, pH – 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 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), 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±2 °С и давлении 0,1 МПа). Опыты закладывались в 3-кратной повторности в три цикла выращивания. Расположение делянок случайное (рендомизированное), размер одной делянки составлял 237 см² (17,9×13,2 см), площадь под одним вариантом – 0,4 м².

Выращивание опытных растений осуществлялось в условиях светокультуры в фитотроне, оснащеном 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 ДСП08-3х12-004 УХЛ4, технические характеристики которых представлены в таблице 1.

Спектр излучения светодиодных светильников ДСП08-3х12-004 УХЛ4 находился в диапазоне длин волн от 380 до 780 нм, включая фотосинтетически активную радиацию. Наличие в излучении квантов света различных длин волн обеспечивало ход всего многообразия фотобиологических процессов, присущих растительным организмам. В качестве источника света в светильнике были применены высокоэффективные энергосберегающие светодиоды компании NICHIA Corporation (Япония) в сочетании со специальной технологией получения оптимального спектра на основе люминофорных композиций разработки НПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси». Числовые характеристики спектра излучения представлены в таблице 2. Параметры фотобиологического действия спектра излучения светильников рассчитаны согласно стандарту [18] и приведены в таблице 3.

Отношение «красной» области ФАР к «синей» в используемых светильниках светильника ДСП08-3х12-004 УХЛ4 составляло 2,7/3,8 (в энергетической СИ / в квантовой СИ); коррелированная цветовая температура приходилась на 2922 К, индекс цветопередачи соответствовал 86.

Растения выращивались при пяти значениях фотопериода: 8, 10, 12, 14 и 16 часов. В качестве контроля принималось значение фотопериода, равное 12 часам. Ежедневно, начиная со 2-х суток выращивания микророзели гороха овощного, в одинаковое время (10 часов утра) определялась динамика формирования биомассы опытными образцами в количественном измерении

Таблица 1 – Технические характеристики светильника ДСП08-3х12-004 УХЛ4 фитоустановки FLORA LED 300/2/4

Параметры	Значение
Ток питания (постоянный), мА	1,05
Напряжение питания, В	36
Потребляемая мощность, Вт	37,5
Класс светораспределения	П
Тип кривой силы света	Д
Поток излучения, Вт	16
Поток фотонов, мкмоль/с	80
Фотосинтетический поток фотонов, мкмоль/с	75
КПД светильника, %	43
Эффективность потока фотонов, мкмоль/с	2,1
Класс защиты от поражения электрическим током	I
Степень защиты	IP65
Вид климатического исполнения	УХЛ4
Диапазон рабочих температур, °С	-1 ... + 40
Вес, кг	0,95
Габаритные размеры, мм	965 ×134×16,5

Таблица 2 – Спектральный состав излучения по диапазонам длин волн светильника ДСП08-3х12-004 УХЛ4 фитоустановки FLORA LED 300/2/4, %

Система измерения величин (СИ)	Диапазон длин волн, нм				
	380–400	400–500	500–600	600–700	700–780
Энергетических	≤ 0,1	16	36	43	6
Фотонных	≤ 0,1	12	34	46	7

Таблица 3 – Характеристики спектра действия светильника ДСП08-3х12-004 УХЛ4 фитоустановки FLORA LED 300/2/4

X_{sv1}	X_{sv2}	X_{ch}	X_{mo-Pr}	X_{mo-Pfr}	X_{tr1}	X_{tr2}
114	125	49	52	43	23	23
E_{sv1}	E_{sv2}	E_{ch}	E_{mo-Pr}	E_{mo-Pfr}	E_{tr1}	E_{tr2}
67 %	73 %	28 %	30 %	25 %	13 %	13 %

(определялся вес сырой биомассы с последующим пересчетом на сухое вещество и на 1 м²).

Все измерения и определения осуществлялись в 3-кратной повторности с последующей статистической обработкой экспериментальных данных по методике, принятой для биологических исследований с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 [19].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно разработкам Института Гипронисельпром (Россия), оптимальная нормируемая облученность в теплице при выращивании рассады (в течение 3–5 недель) равна 40 Вт/м² (180–200 мкмоль/м²·с) ФАР с фотопериодом 14 часов, а при выращивании зеленных растений на продукцию (в течение 4–8 недель) – 100 Вт/м² (450–500 мкмоль/м²·с) ФАР с фотопериодом 16 часов [20]. Таким образом, ожидаемый оптимум в культуре микрозелени с более коротким циклом выращивания (10 дней) по исследуемому показателю (формирование биомассы) приходился на 10–12 часов фотопериода. Однако экспериментально оптимальную продолжительность светодиодного освещения для микрозелени гороха овощного на уровне 10–12 часов подтвердить не удалось.

Динамика формирования биомассы микрозеленью гороха овощного сорта Павлуша сводилась к следующему. На 2-е сутки (от момента посева образцов после замачивания) биомасса с 1 м² по всем пяти продолжительностям светодиодного освещения (8, 10, 12, 14 и 16 часов) несущественно отличалась друг от друга и находилась в диапазоне 2,9–3,8 г. Начиная с 3-х суток выращивания опытные образцы при 16-часовом освещении начали показывать увеличение накопления биомассы в количестве 5,1 г/м² против 4,0–4,7 г/м² при остальных режимах освещения. Данное явление продолжалось до 7-х суток культивирования включительно (табл. 4). Начиная с 8-х суток выращивания микрозелени опытные образцы при 14-ти часах светодиодного освещения заняли лидирующее положение по формированию биомассы гороха овощного и показали ее максимальное накопление (264,9 г/м² против

235,4; 178,1; 177,6 и 258,4 г/м² при 8, 10, 12 и 16 часах соответственно), что отражено на рисунке 1.

Стоит также отметить, что снижение в накоплении биомассы при 16-часовом режиме светодиодного освещения было обусловлено притормаживанием в росте и развитии опытных образцов, начиная с 8-х суток выращивания, по сравнению с контрольной 12-часовой и лучшей 14-часовой продолжительностью светодиодного освещения. Это указывает на то, что микрозелень овощных культур длинного дня, к которой относится горох овощной, не успевает преобразовывать в глюкозу в темновой фазе фотосинтеза (8 часов в сутки) накопленную световую энергию в молекулах АТФ и НАДФ в световой фазе фотосинтеза (16 часов в сутки), что впоследствии приводит к снижению биосинтеза и замедлению ростовых процессов. Лишняя продолжительность 16-часового светодиодного освещения проявилась в виде подкручивания листочков у микрозелени к моменту сбора урожая (рис. 2).

Наименьшим уровнем накопления биомассы характеризовалась микрозелень, выращиваемая при 8-часовом светодиодном освещении, за счет отставания в морфобиохимических процессах развития растений. К моменту уборки она показала результат 1 763,3 г/м² сырой, или 178,1 г/м² сухой биомассы (табл. 4). Товарный вид 8-часовой микрозелени характеризовался более вытянутыми растениями, менее сформированным листовым аппаратом (см. рис. 2).

Невысокими показателями биомассы характеризовались также опытные образцы микрозелени гороха овощного сорта Павлуша при продолжительности светодиодного освещения, равной 10-ти часам в сутки: 2,9; 4,0; 22,4; 50,1; 75,5; 91,8; 121,8; 156,3 и 177,6 г/м² на 2–10 сутки выращивания соответственно (см. табл. 4). К моменту уборки урожая 10-часовая микрозелень показала биомассу в 1,3 раза меньшую, чем контрольные образцы и в 1,5 раза – чем 14-часовая, наиболее продуктивная микрозелень. Товарный вид как 8-часовой, так и 10-часовой микрозелени характеризовался более вытянутыми растениями, менее сформированным стебле-лиственным аппаратом.

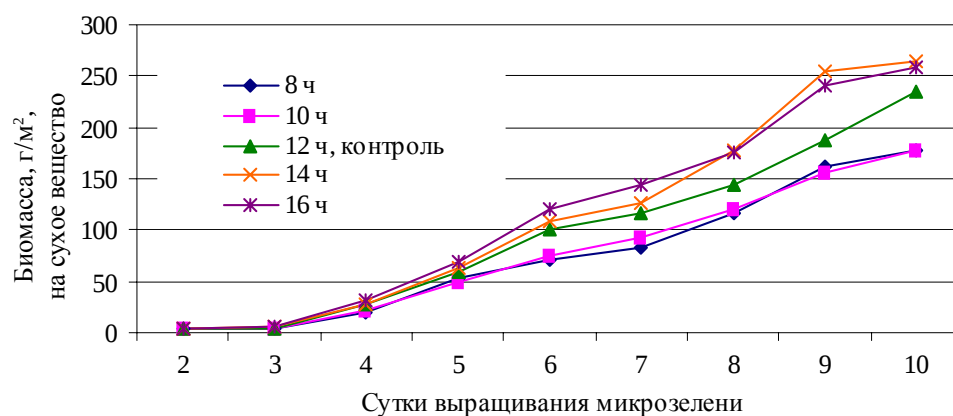


Рисунок 1 – Динамика формирования биомассы микрозеленью гороха овощного в зависимости от продолжительности светодиодного освещения

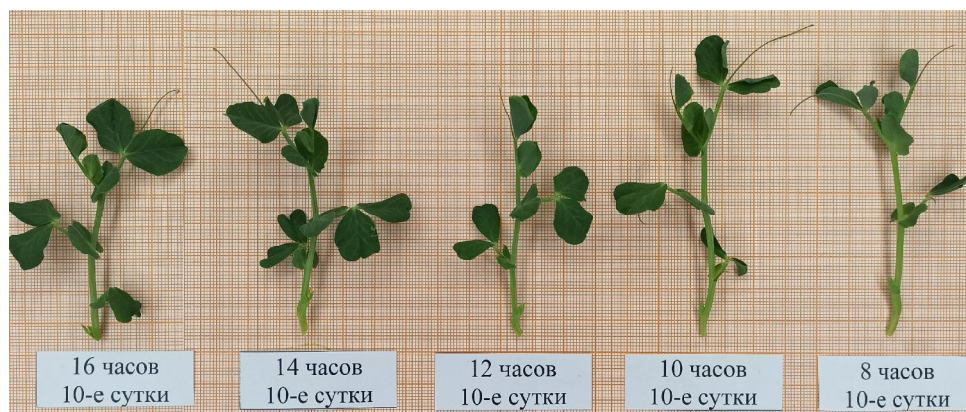


Рисунок 2 – Опытные образцы микрозелени гороха овощного на 10-е сутки выращивания при различной продолжительности светодиодного освещения

Таблица 4 – Динамика накопления биомассы (в пересчете на сухое вещество) микрозеленью гороха овощного при разной продолжительности светодиодного освещения, г/м²

Продолжительность освещения, часов	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	<i>t</i>
2-е сутки		
12 (контроль)	3,4±0,0	
8	3,2±0,1	-2,0
10	2,9±0,1	-5,3*
14	3,5±0,1	1,3
16	3,8±0,1	3,2*
3-и сутки		
12 (контроль)	4,4±0,1	
8	4,4±0,1	-0,7
10	4,0±0,1	-4,1*
14	4,7±0,1	2,0
16	5,1±0,1	5,6*
4-е сутки		
12 (контроль)	26,6±0,4	
8	19,5±0,5	-11,2*
10	22,4±0,4	-7,5*
14	28,0±0,4	2,3
16	31,0±0,6	6,4*
5-е сутки		
12 (контроль)	59,5±0,3	
8	53,3±0,2	-16,5*
10	50,1±0,6	-13,9*
14	62,8±0,7	4,4*
16	69,5±0,9	11,1*

Продолжительность освещения, часов	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	t
6-е сутки		
12 (контроль)	101,2±0,5	
8	71,6±0,4	-50,8*
10	75,5±0,2	-49,5*
14	109,0±0,5	10,9*
16	120,6±0,5	30,0*
7-е сутки		
12 (контроль)	116,2±0,2	
8	83,4±0,5	-64,6*
10	91,8±0,6	-37,4*
14	126,8±0,8	12,6*
16	144,8±0,7	38,2*
8-е сутки		
12 (контроль)	145,1±0,4	
8	117,4±0,7	-33,2*
10	121,8±1,0	-22,0*
14	177,1±1,5	21,1*
16	174,8±1,0	27,7*
9-е сутки		
12 (контроль)	187,0±2,2	
8	162,4±1,2	-10,0*
10	156,3±0,2	-14,2*
14	254,9±1,9	23,4*
16	241,4±0,6	24,2*
10-е сутки		
12 (контроль)	235,4±0,6	
8	178,1±1,0	-47,9*
10	177,6±2,6	-21,9*
14	264,9±0,4	38,5*
16	258,4±0,5	29,0*

* Статистически значимые по t -критерию Стьюдента различия с контролем при $P < 0,05$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из проведенных исследований по формированию биомассы микрозеленью гороха овощного в зависимости от продолжительности светодиодного освещения, можно сделать следующие выводы:

1. Наиболее оптимальной продолжительностью светодиодного освещения для формирования биомассы товарной микрозеленью является 14 часов;

2. 16-часовая продолжительность светодиодного освещения была оптимальной для опытных растений в первую неделю, а начиная со второй недели, или 8-х суток культивирования, данная продолжительность светодиодного приводила к снижению биосинтеза и замедлению ростовых процессов,

которые проявились в виде подкручивания листочков у микрозелени к моменту сбора урожая;

3. Наименьшим уровнем накопления биомассы характеризовалась микро-зелень, выращиваемая при 8- и 10-часовой продолжительности светодиодного освещения, и сформировавшая более вытянутые растения с менее сформированным стебле-листовым аппаратом.

Список использованных источников

1. Sprouts, microgreens, and edible flowers: the potential for high value specialty produce in Asia / A. W. Ebert [et al.] // Proceeding SEAVEG 2012, Chiang Mai, Thailand. – 2012. – 24–26 January (Conference paper). – P. 216–227.

2. Food system strategies for preventing micronutrient malnutrition / D. D. Miller [et al.] // Food Police. – 2013. – Vol. 42. – P. 115–128.

3. Микрозелень – новая категория органической овощной продукции / А. М. Пашкевич [и др.] // Научно-инновационные основы развития отрасли овощеводства : тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф., аг. Самохваловичи, Минский район, 14–16 авг., 2018 г. – Самохваловичи, 2018. – С. 25–28.

4. Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces / E. Pinto [et al.] // Journal of Food Composition and Analysis. – 2015. – Vol. 37. – P. 38–43.

5. ФАО объявляет о начале провозглашенного ООН Международного года овощей и фруктов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fao.org/news/story/ru/item/1365067/icode/>. – Дата доступа: 28.02.2021.

6. Микрозелень, или система земледелия без почвы / М. И. Иванова [и др.] // Гавриш. – 2016. – № 6. – С. 34–42.

7. Evaluation and correlation of sensory attributes and chemical compositions of emerging fresh produce: Microgreens / Z. Xiao [et al.] // Postharvest Biology and Technology. – 2015. – Vol. 110. – P. 140–148.

8. Achievements and challenges in improving the nutritional quality of food legumes / M. C. Vaz Patto [et al.] // Critical reviews in plant sciences. – 2015. – T. 34. – № 1–3. – С. 105–143.

9. Microgreens: A new specialty crop / D. Treadwel [et al.] // University of Florida (Conference paper). – 2010. – P. 1164.

10. Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens / M. C. Kyriacou [et al.] // Trends in Food Science & Technology. – 2016. – Vol. 57. – P. 103–115.

11. Different Microgreen Genotypes Have Unique Growth and Yield Responses to Intensity of Supplemental PAR from Light-emitting Diodes during Winter Greenhouse Production in Southern Ontario, Canada / J. Chase [et al.] // Scientia Horticulturae. – 2020. – Vol. 55. – P. 156–163.

12. 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.

13. Blue and Red LED Illumination Improves Growth and Bioactive Compounds Contents in Acanthaceae and Cynanaceae Ocimum basilicum L. Microgreens / A. Lobiuc [et al.] // Molecules. – 2017. – Vol. 22 (2111). – P. 1–14.

14. Changes in mineral element content of microgreens cultivated under different lighting conditions in a greenhouse / A. Brazaitytė [et al.] // *Acta Horticulturae*. – 2018. – Vol. 1227. – P. 507–516.
15. 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. – Vol. 1287. – P. 395–402.
16. 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 / K. Yun [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. – 2020. – Vol. 178 (104189). – P. 1–11.
17. Light Intensity and Light quality from Sole-source Light-emitting Diodes Impact Phytochemical Concentrations within Brassica Microgreens / J. K. Craver [et al.] // *Journal of the American Society for Horticultural Science*. – 2017. – Vol. 142 (1). – P. 3–12.
18. Физика оптических излучений и светотехника. Фотобиологически активное излучение. Размеры, условные обозначения и спектры действия: Стандарт DIN5031-10-2018. – Введ. 01.03.2018. – М. : Рос. ин-т стандартизации, 2018. – 102 с.
19. 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.
20. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы / А. А. Тихомиров [и др.]. – Новосибирск : Изд. Сиб. отд. РАН, 2000. – 213 с.

Поступила в редакцию 3 декабря 2021 г.

**A. M. Pashkevich, E. S. Dosina-Dubeshko, O. V. Solovey,
V. V. Halankova**

FORMATION OF BIOMASS BY MICROGREENS OF GARDEN PEAS *PISUM SATIVUM* L. DEPENDING ON THE DURATION OF LED LIGHTING

SUMMARY

The article presents the research results on the formation of biomass by microgreens of garden peas, depending on the duration of LED lighting (8, 10, 12, 14 and 16 hours). It is established that the most optimal duration of LED lighting for the formation of biomass by microgreen is 14 hours. The lowest level of biomass accumulation (by 1.3 times), was characterized by microgreens grown at 8 and 10 hours of LED lighting and formed more elongated plants with a less formed stem-leaf apparatus, which reduced its marketability. The duration of LED lighting of 16 hours was optimal for experimental plants in the first week, and starting from the second week, or 8 days of cultivation, led to a decrease in biosynthesis and a slowdown in growth, which manifested in the form of twisting of leaves and a decrease in the marketable condition of microgreens by the time of harvest.

Key words: microgreens, garden peas, LED lighting, duration of LED lighting.