ISSN 1029-8940 (Print)
ISSN 2524-230X (Online)
УДК 635.918.582.774:581.14.043
https://doi.org/10.29235/1029-8940-2023-68-4-271-281

Поступила в редакцию 13.04.2023
Received 13.04.2023

**Н. В. Гетко, И. Н. Кабушева, Н. Л. Сак, В. В. Титок**

*Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

# ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА МОРФОГЕНЕЗ СЕЯНЦЕВ *MYRTUS COMMUNIS* L. И *PSIDIUM CATTLEIANUM* SABINE (*MYRTACEAE* JUSS.) В МАЛООБЪЕМНОЙ ОРАНЖЕРЕЙНОЙ КУЛЬТУРЕ

**Аннотация.** Изучено влияние интенсивности и спектрального состава света светодиодного (LED) и люминесцентных (FL) излучателей на морфогенез сеянцев *Myrtus communis* L. и *Psidium cattleianum* Sabine (*Myrtaceae*) в малообъемной оранжерейной культуре в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси. Показано, что по высоте растений, числу и общей поверхности листьев, а также по удельной сухой массе листа сеянцы обоих видов за 120 дней выращивания во всех вариантах с облучением превосходили контрольные растения. На прирост сухой массы на 1 см$^2$ листа (по отношению к контролю), характеризующий продуктивность фотосинтеза, оказал влияние спектральный состав излучения, позволивший выявить межвидовые и межвариантные различия. В варианте с лампой FL Narva с плотностью общего фотонного потока PFD = 76,22 мкмоль/м$^2$/с, с долей зеленого спектра PFD-G = 46,47 %, красного – PFD-R = 20,00 % и с величиной соотношения R/FR = 5,77 у субтропического вида длинного дня *M. communis* он составил 1,24 мг, а у тропического вида короткого дня *P. cattleianum* – всего 0,39 мг. У обоих видов, облученных LED-лампой с PFD = 186,20 мкмоль/м$^2$/с, PFD-R = 59,34 % и при R/FR = 54,43, величина прироста составила 2,60 и 1,93 мг соответственно по отношению к контролю. Светодиодные источники являются более эффективными в отношении продуктивности фотосинтеза для растений короткого и длинного дня.

**Ключевые слова:** LED-, FL-источники излучения; сеянцы *Myrtus communis*, *Psidium cattleianum*; спектральный состав излучения; морфогенез; растения короткого дня; растения длинного дня

**Для цитирования:** Влияние спектрального состава света на морфогенез сеянцев *Myrtus communis* L. и *Psidium cattleianum* Sabine (*Myrtaceae* Juss.) в малообъемной оранжерейной культуре / Н. В. Гетко [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2023. – Т. 68, № 4. – С. 271–281. https://doi.org/10.29235/1029-8940-2023-68-4-271-281

**Nelly V. Hetko, Irina N. Kabusheva, Nataliya L. Sak, Vladimir V. Titok**

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

# INFLUENCE OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT ON THE MORPHOGENESIS OF SEEDLINGS OF *MYRTUS COMMUNIS* L. AND *PSIDIUM CATTLEIANUM* SABINE (*MYRTACEAE* JUSS.) IN A SMALL POT GREENHOUSE CULTURE

**Abstract.** The influence of the intensity and spectral composition of LED and fluorescent (FL) light on the morphogenesis of *Myrtus communis* L. and *Psidium cattleianum* Sabine (*Myrtaceae*) seedlings in a small pot greenhouse culture in the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (CBG) was studied. It was shown that in terms of plant height, the number and total surface of leaves, as well as the specific dry weight of the leaf, seedlings of both species over 120 cultivation days in all variants with irradiation surpassed control plants. The increase in dry weight per 1 cm$^2$ of leaf (mg with respect to the control) that characterizes the photosynthesis productivity was influenced by the spectral composition of radiation, which made it possible to identify interspecies and intervariant differences. The variant with an FL Narva lamp with a total photon flux density PFD = 76.22 μmol/m$^2$/s, with a share of the green spectrum PFD-G = 46.47 %, red – PFD-R = 20.00 % and with the value of the ratio R/FR = 5.77 in the subtropical long-day species *M. communis*, it was 1.24 mg, while in the tropical short-day species *P. cattleianum* had only 0.39 mg. In plants irradiated with an LED lamp with a photon flux density PFD = 186.20 μmol/m$^2$/s, with a share of PFD-R = 59.34 %, and at R/FR = 54.43, the growth was 2.60 and 1.93 mg with respect to control, respectively. LED sources are the most efficient in terms of the photosynthesis productivity for both short-day and long day plants.

**Keywords:** LED-, FL-sources of radiation; seedlings of *Myrtus communis*, *Psidium cattleianum*; spectral composition of radiation; morphogenesis; short-day plants; long-day plants

**For citation:** Hetko N. V., Kabusheva I. N., Sak N. L., Titok V. V. Influence of the spectral composition of light on the morphogenesis of seedlings of *Myrtus communis* L. and *Psidium cattleianum* Sabine (*Myrtaceae* Juss.) in a small pot greenhouse culture. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2023, vol. 68, no. 4, pp. 271–281 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1029-8940-2023-68-4-271-281

**Введение.** К семейству Миртовые (*Myrtaceae* Juss.), в котором, по информации базы данных World Flora Online [1], насчитывается 6233 вида в составе 129 родов, относятся такие широко известные растения мировой флоры, как мирт, гвоздичное дерево, гуава, фейхоа, чайное дерево, эвкалипт и многие другие. Обитают они главным образом в тропических странах, но особенно распространены в Австралии и тропической Америке. Широкой известностью пользуется мирт обыкновенный (*Myrtus communis* L.), по имени которого названы семейство и подсемейство – Миртовые (*Myrtoideae* Sweet.). Большинство видов этого семейства представляют значительный интерес для практического использования в качестве источников биологически активных веществ. Все они являются декоративно-лиственными красивоцветущими плодовыми деревьями или кустарниками, богатыми фитонцидами и эфирными маслами, многие из них лекарственные.

В коллекционном фонде оранжерейных растений Центрального ботанического сада (ЦБС) семейство Миртовые (*Myrtaceae* Juss.) представлено 17 наименованиями, принадлежащими к 10 родам, которые включают 13 видов, 3 сорта и 1 подвид. Среди них 8 видов достигают репродуктивной стадии развития, а 6 образуют плоды и всхожие семена [2], что позволяет получать посадочный материал местной репродукции для расширенного использования в практике озеленения и комнатном цветоводстве.

Для сохранения вечнозеленых видов растений в контролируемых условиях оранжерей важно оптимально приблизить ритмы их развития к условиям естественного обитания, особенно в плане регулирования таких важнейших факторов, какими являются свет и долгота дня. Свет как источник энергии является одной из наиболее важных переменных, влияющих на фотосинтез, рост и развитие растений, а также ключевым фактором их приспосабливаемости к условиям окружающей среды [3].

В теплицах и других контролируемых средах, в которых интенсивность естественного излучения, как правило, низка, выращивание растений зависит от дополнительного освещения для оптимизации фотосинтеза, повышения уровня продукции и обеспечения круглогодичного производства. Долгое время исследования, связанные с источниками искусственного освещения, были сосредоточены на оптимизации эффективности их использования для фотосинтеза [4].

Вопрос о качестве света в растениеводстве стал решаться сравнительно недавно, с развитием передовой светодиодной технологии, которая не только энергоэффективна, но и позволяет контролировать спектральный состав света. Известно, что различные области спектра ответственны за определенные процессы морфогенеза: синий свет, как его основной компонент, стимулирует формирование листьев, закладку вегетативных почек; красный свет активизирует закладку цветочных почек [5]. Диапазон длин волн от 430 до 500 нм эффективен для имитации пигментации, метаболизма вторичных метаболитов, фотосинтетической функции и развития хлоропластов [6, 7]. Исследования в диапазоне длин волн 500–600 нм выявили его важное физиологическое и морфологическое влияние на рост, содержание хлорофилла и фотосинтетическую функцию [8]. Диапазон длин волн красного спектра 640–670 нм эффективен для стимулирования фотосинтетической активности, увеличения биомассы растений и площади листа, и при этом он играет критически важную роль в развитии фотосинтетического аппарата, чистой скорости фотосинтеза и в первичном метаболизме [9].

Красный и дальний красный свет поглощается пигментом фитохромом, который запускает ряд морфологических процессов и процессов развития, влияющих на продуктивность растений. Этот пигмент существует в двух взаимно превращающихся фотохимических формах: $P_R$-форма, аккумулирующая красный свет в диапазоне 650–680 нм с пиком поглощения при 666 нм, превращается в $P_{FR}$-форму, которая, в свою очередь, поглощая дальний красный свет в диапазоне 710–740 нм с пиком поглощения 730 нм, преобразуется в $P_R$-форму [10].

Долгое время считалось, что из-за плохого поглощения листьями дальнего красного света ($\lambda > 700$ нм) и низкого квантового выхода фотосинтеза он не вносит никакого вклада в фотосинтез или вносит минимальный вклад [11]. В настоящее время известно, что низкий квантовый выход фотосинтеза в дальнем красном свете обусловлен неуравновешенным возбуждением фотосистем PSI и PSII, последовательно работающих для осуществления фотохимических реакций. Если свет с более короткой длиной волны дополнить дальним красным светом, который преиму-

щественно возбуждает PSI, возможно восстановление баланса возбуждения между двумя фотосистемами, что позволит увеличить скорость фотохимических реакций и квантовый выход фотосинтеза [12].

Таким образом, чтобы эффективно использовать все преимущества искусственных источников света и разрабатывать световые матрицы для конкретных растений, важно понимать, как качество света влияет на рост и развитие растений. Спектральный состав света, долгота дня и фотопериод выступают в качестве основных светотехнических параметров.

Цель данного исследования – оценка влияния спектральных характеристик искусственных источников света на морфогенез двух представителей семейства *Myrtaceae* Juss. (*Myrtus communis* L., *Psidium cattleianum* Sabine) для получения качественного посадочного материала собственной репродукции в малообъемной оранжерейной культуре.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объектов исследования привлечены два вида данного семейства: *Myrtus communis* L. и *Psidium cattleianum* Sabine, представляющих, соответственно, флоры разных географических континентов: Южную Европу и тропическую Америку. Сохраняемые в коллекциях ЦБС, они проходят полный цикл развития в условиях оранжерейной культуры.

*Myrtus communis* L. – мирт обыкновенный, вечнозеленый кустарник или дерево до 3 м высотой, естественно произрастает в сухих субтропиках Средиземноморья в подлеске вечнозеленых дубов и сосен, в зарослях вечнозеленых кустарников (маквис). Высокодекоративный вид с темно-зелеными листьями почти без черешков. Характеризуется средней скоростью роста. Цветки пятилепестковые, белого цвета с кремовым оттенком, около 2 см в диаметре. Плод – ягода темно-синего цвета. Рекомендуется для зимних садов, интерьеров, большой популярностью пользуется в качестве комнатного растения.

*Psidium cattleianum* Sabine – псидиум Кеттли, гуава Кеттли, земляничная гуава. Родина – Восточная Бразилия. К мирту, особенно к его вест-индским видам, наиболее близок большой род псидиум (*Psidium* L.), насчитывающий около 100 видов в Вест-Индии и тропической Южной Америке. *P. cattleianum* популярен как плодовая культура. Встречается в тенистых густых лесах и по долинам рек. Вечнозеленое, медленно растущее дерево высотой 2–4 м, с темно-зелеными глянцевыми кожистыми листьями 4–12 см длиной и 2–6 см шириной. Плод круглый, 2,5–4,0 см в диаметре, с тонкой кожицей пурпурно-красного цвета. Плоды съедобны, мякоть сочная, с земляничным ароматом. Широко культивируется в тропиках: в Южной Калифорнии, на Антильских, Багамских, Сейшельских и Бермудских островах, в Африке, Индии, Малайзии, на Шри-Ланке, Филиппинах.

Растения тропической флоры произрастают в условиях короткого, максимум 12-часового, светового дня, а растения субтропиков – это растения длинного светового дня (long day plants – LDP), 14–16-часового фотопериода. При выращивании в условиях оранжерей умеренного климата важно учитывать особенности светового режима, к которому они адаптированы в местах их естественного произрастания. Поэтому подходы к разработке световых технологий для этих групп растений в условиях оранжерей могут различаться. В данном случае оба привлеченные для исследований вида – это растения, естественно произрастающие под пологом тропического (*P. cattleianum*) или субтропического (*M. communis*) лесного массива, адаптированные к условиям затенения.

В качестве экспериментального материала использованы двухмесячные сеянцы собственной репродукции обоих видов, распикированные в горшки объемом 0,3 л с почвенной смесью, состоящей из верхового торфа, дерновой земли, агроперлита и песка в соотношении 1 : 1 : 0,5 : 0,1. В каждом варианте опыта по 15 растений *M. communis* и *P. cattleianum*.

Опытные растения были размещены в световых шкафах со специально созданными тремя вариантами искусственного освещения: *1* – полноспектральный светодиодный светильник для растений LED – фитолампа ULI-P11-35W/SPFR (LED Uniel) с кремовым свечением, фотосинтетический фотонный поток 49 мкмоль/с, цветовая температура 4000 (холодный белый свет); *2* – люминесцентная лампа NARVA LT 30WT/760-010 (FL Narva), световой поток 1950 лм, цветовая температура 6000 К (дневной свет); *3* – люминесцентная лампа Osram FLUORA T8 36W/77

(FL Osram) с акцентом в синей и красной областях спектра, световой поток 1400 лм, цветовая температура 7700 К (дневной свет). За контроль принимали условия естественного освещения в оранжерее. Ежедневная продолжительность освещения растений источниками искусственного света – 10 ч. Расстояние между растениями и лампами – 20 см. Облученность растений в эксперименте определяли на уровне верхушки растений с помощью спектрометра PAR PG200N.

Спектральные характеристики ламп и естественной облученности растений в условиях оранжерей приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. **Спектральные характеристики фотонной облученности растений**

T a b l e 1. **Spectral characteristics of photon irradiation of plants**

| Исследуемый параметр | Искусственный источник излучения | | | Естественное освещение (контроль) |
|---|---|---|---|---|
| | LED Uniel | FL Narva | FL Osram | |
| PPFD, мкмоль/м$^2$/с | 184,10 | 72,25 | 67,88 | 22,33 |
| PFD, мкмоль/м$^2$/с | 186,20 | 76,22 | 72,93 | 32,26 |
| PFD-B: | | | | |
| мкмоль/м$^2$/с | 25,45 | 21,59 | 18,71 | 4,90 |
| % от PFD | 13,67 | 28,33 | 25,65 | 15,19 |
| PFD-G: | | | | |
| мкмоль/м$^2$/с | 48,07 | 35,42 | 20,91 | 8,09 |
| % от PFD | 25,82 | 46,47 | 28,67 | 25,08 |
| PFD-R: | | | | |
| мкмоль/м$^2$/с | 110,5 | 15,24 | 28,25 | 9,35 |
| % от PFD | 59,34 | 20,00 | 38,74 | 28,98 |
| PFD-FR: | | | | |
| мкмоль/м$^2$/с | 2,03 | 2,64 | 4,51 | 9,38 |
| % от PFD | 1,09 | 3,46 | 6,18 | 29,08 |
| R/FR | 54,43 | 5,77 | 6,26 | 1,00 |

П р и м е ч а н и е. PPFD (*photosynthetic photon flux density* – фотосинтетическая облученность) – количество фотонов, падающее на 1 м$^2$/с в диапазоне длин волн 400–700 нм; PFD (*photon flux density* − фотонная облученность) − количество фотонов, падающее на 1 м$^2$/с в диапазоне длин волн 380–780 нм; PFD-R, PFD-G, PFD-B, PFD-FR – фотонная облученность в красной (600–700 нм), зеленой (500–600 нм), синей (400–500 нм), дальней красной (700–780 нм) областях спектра соответственно.

Как видно из табл. 1, лампы различаются как по общей фотонной облученности (PFD), так и по фотосинтетической (PPFD): самые высокие значения этих параметров у лампы LED Uniel – 186,2 и 184,1 мкмоль/м$^2$/с соответственно; у люминесцентных ламп FL Narva и FL Osram – 72,25 и 76,22; 67,88 и 72,93 мкмоль/м$^2$/с соответственно. В условиях естественного освещения в оранжерее (контроль) эти показатели составляли 22,33 и 36,26 мкмоль/м$^2$/с. Соотношение долей спектров у лампы LED Uniel – $B_{14}$: $G_{26}$ : $R_{59}$; у лампы FL Narva – $B_{28}$ : $G_{46}$ : $R_{20}$; у лампы FL Osram – $B_{26}$ : $G_{29}$ : $R_{39}$. Таким образом, кроме параметра облученности растений (PPFD), в целом различия в спектрах излучения между лампами в вариантах опыта включают: долю красного спектра (R), которая у лампы LED Uniel составляет более 59,34 %, а синего (B) – всего 13,67 %; долю зеленого спектра (G), которая самая большая у лампы FL Narva (46,47 %); различные доли дальнего красного спектра (FR) в диапазоне излучения 710–740 нм в трех вариантах опыта: люминесцентные лампы FL Osram – 6,18 %, FL Narva – 3,46, светодиодный источник LED Uniel – 1,09 %. В контроле почти треть (29,08 %) от общего фотонного потока (PPFD) дневного падающего света в оранжерее приходится на долю дальнего красного света.

Исследовали морфологические параметры опытных растений: высоту, число, размеры и массу листьев и корней, а также удельную сухую массу листьев (мг/см$^2$).

Статистическую обработку данных проводили при помощи программ Excel и Statistica. Для определения достоверности отличий между выборками применяли критерий Вилкоксона.

**Результаты и их обсуждение.** По всем морфологическим параметрам сеянцы обоих видов за период выращивания (120 дней) во всех вариантах с облучением превосходили растения, находящиеся в условиях естественного освещения в оранжерее (контроль). Как следует из данных, представленных на рис. 1 и в табл. 2, характер изменений морфологических параметров (высота растений, число и общая поверхность листьев, удельная, сухая и сырая масса листьев, корней) связан с интенсивностью фотосинтетической облученности растений (PPFD), которая у светодиодной лампы LED Uniel была самой высокой – 186,20 мкмоль/м$^2$/с (см. табл. 1).




Рис. 1. *Myrtus communis* L. (*a*) и *Psidium cattleianum* Sabine (*b*) после 120 дней выращивания в горшечной культуре в условиях разной освещенности: *1* – условия естественной освещенности в оранжерее; *2* – FL Osram; *3* – LED Uniel; *4* – FL Narva

Fig. 1. *Myrtus communis* L. (*a*) and *Psidium cattleianum* Sabine (*b*) after 120 cultivation days in a pot culture under different lighting conditions: *1* – natural lighting conditions in a greenhouse; *2* – FL Osram; *3* – LED Uniel; *4* – FL Narva

Из морфологически значимых для вида признаков обратим внимание на размеры сформированной за период наблюдения листовой пластинки: длину и ширину, а также соотношение этих параметров (см. табл. 2). Видовые различия проявились в вариантах опыта в сравнении с контролем.

У растений *M. communis* размеры листа в вариантах опыта с облучением отличались от контрольных в сторону увеличения в вариантах с LED-лампой и FL Narva, что привело к изменению величины соотношения длина/ширина, а следовательно, и формы листа в обоих случаях.

У растений *P. cattleianum* в опытах с облучением LED-лампой размеры листовой пластинки в длину превосходили контрольный вариант – 5,67 см против 3,53 см, а по форме листовой пластинки  листья растений в контрольном варианте были более удлиненными, чем в варианте с искусственным облучением, – 2,25 против 2,03–2,20 соответственно. Значительно увеличилась общая поверхность листьев у растений обоих видов в опытах с искусственными источниками освещения по сравнению с контрольными (табл. 2). В вариантах с облучением LED-лампой для растений *M. communis* этот показатель увеличился в 2,8 раза, а для растений *P. cattleianum* – почти в 5 раз.

Разрастание листовой пластинки, изменение ее размеров в длину и ширину, а также увеличение общей листовой поверхности у растений следует рассматривать в качестве ответной адаптивной реакции вида на избегание тени, обеспечивающей более эффективный захват света и характерной для растений, произрастающих под пологом леса и адаптированных к свет-дефицитной среде.

Т а б л и ц а 2. **Влияние спектрального состава света на морфологические параметры растений *Myrtus communis* L. и *Psidium cattleianum* Sabine**

T a b l e 2. **Influence of the spectral composition of light on the morphological parameters of plants of *Myrtus communis* L. and *Psidium cattleianum* Sabine**

| Исследуемый параметр | Искусственный источник излучения | | | Естественное освещение (контроль) |
|---|---|---|---|---|
| | LED Uniel | FL Narva | FL Osram | |
| *Усредненные значения параметров на 1 растение* (при $n = 15$) | | | | |
| Высота растений, см | | | | |
| *M. communis* | 26,10 ± 0,79[a] | 22,84 ± 0,88[b] | 16,22 ± 1,07[c] | 12,26 ± 0,16[abc] |
| *P. cattleianum* | 18,42 ± 0,89[a] | 15,52 ± 0,69[b] | 10,24 ± 0,31 | 9,22 ± 0,69[ab] |
| Число листьев, шт. | | | | |
| *M. communis* | 84,40 ± 5,82[a] | 52,40 ± 4,53[b] | 30,40 ± 2,04 | 20,80 ± 0,80[ab] |
| *P. cattleianum* | 29,40 ± 2,56[a] | 22,80 ± 0,80[b] | 18,80 ± 0,49[c] | 14,40 ± 0,40[abc] |
| Число побегов, шт. | | | | |
| *M. communis* | 8,40 ± 1,03[a] | 4,20 ± 0,86[b] | 2,00 ± 0,63 | 1,00 ± 0,00[ab] |
| *P. cattleianum* | 2,20 ± 0,73 | 1,00 ± 0,00 | 1,00 ± 0,00 | 1,00 ± 0,00 |
| Длина боковых побегов, шт. | | | | |
| *M. communis* | 3,16 ± 0,47 | 1,75 ± 0,39 | 1,42 ± 0,55 | – |
| *P. cattleianum* | 1,82 ± 0,60 | – | – | – |
| Длина междоузлия, см | | | | |
| *M. communis* | 1,46 ± 0,07 | 1,20 ± 0,05 | 1,19 ± 0,05 | 1,32 ± 0,06 |
| *P. cattleianum* | 1,72 ± 0,13 | 1,47 ± 0,14 | 1,21 ± 0,13 | 1,41 ± 0,16 |
| Длина листа (L), см | | | | |
| *M. communis* | 3,61 ± 0,06[a] | 3,34 ± 0,04[b] | 3,11 ± 0,04 | 3,23 ± 0,09[ab] |
| *P. cattleianum* | 5,67 ± 0,07[a] | 4,72 ± 0,10[b] | 3,52 ± 0,06 | 3,53 ± 0,12[ab] |
| Ширина листа (W), см | | | | |
| *M. communis* | 1,36 ± 0,02[a] | 1,47 ± 0,02[b] | 1,29 ± 0,02 | 1,30 ± 0,03[ab] |
| *P. cattleanum* | 2,80 ± 0,05[a] | 2,24 ± 0,06[b] | 1,60 ± 0,02 | 1,57 ± 0,05[ab] |
| Длина/ширина листа (L/W) | | | | |
| *M. communis* | 2,65 | 2,27 | 2,41 | 2,48 |
| *P. cattleianum* | 2,03 | 2,11 | 2,20 | 2,25 |
| Поверхность листвы (S), $см^2$ | | | | |
| *M. communis* | 23,33 ± 1,06[a] | 18,28 ± 1,18[b] | 10,59 ± 0,96 | 8,25 ± 0,71[ab] |
| *P. cattleianum* | 25,42 ± 3,06[a] | 14,49 ± 1,68[b] | 7,07 ± 0,63 | 5,19 ± 0,50[ab] |
| Сырая масса листьев, г | | | | |
| *M. communis* | 1,96 ± 0,09[a] | 1,25 ± 0,08[b] | 0,65 ± 0,06 | 0,48 ± 0,04[ab] |
| *P. cattleianum* | 2,54 ± 0,31[a] | 1,25 ± 0,14[b] | 0,52 ± 0,05 | 0,38 ± 0,04[ab] |
| Сухая масса 1 $см^2$ листьев, мг | | | | |
| *M. communis* | 5,61 ± 0,13 | 4,25 ± 0,32 | 3,88 ± 0,11 | 3,01 ± 0,13 |
| *P. cattleianum* | 4,99 ± 0,14 | 3,45 ± 0,07 | 2,76 ± 0,06 | 3,06 ± 0,04 |
| % сухой массы листьев | | | | |
| *M. communis* | 34,9 ± 1,02 | 32,5 ± 0,35 | 32,9 ± 0,41 | 27,1 ± 0,27 |
| *P. cattleianum* | 26,2 ± 0,30 | 20,9 ± 0,29 | 19,5 ± 0,06 | 21,9 ± 0,50 |
| Сырая масса растения, г | | | | |
| *M. communis* | 3,54 ± 0,15[a] | 2,07 ± 0,18[b] | 1,10 ± 0,09 | 0,77 ± 0,09[ab] |
| *P. cattleianum* | 3,76 ± 0,40[a] | 1,68 ± 0,21[b] | 0,68 ± 0,06 | 0,56 ± 0,06[ab] |
| Сырая масса стебля, г | | | | |
| *M. communis* | 0,83 ± 0,06[a] | 0,48 ± 0,05 | 0,23 ± 0,03 | 0,15 ± 0,04[a] |
| *P. cattleianum* | 0,40 ± 0,04[a] | 0,18 ± 0,02[b] | 0,07 ± 0,004 | 0,07 ± 0,01[ab] |
| Сырая масса корней, г | | | | |
| *M. communis* | 0,75 ± 0,07[a] | 0,34 ± 0,06[b] | 0,22 ± 0,02 | 0,14 ± 0,02[ab] |
| *P. cattleanum* | 0,82 ± 0,06[a] | 0,25 ± 0,05[b] | 0,09 ± 0,01 | 0,11 ± 0,02[ab] |
| Масса корней, % | | | | |
| *M. communis* | 21,19 | 16,43 | 20,00 | 18,18 |
| *P. cattleianum* | 21,81 | 14,88 | 13,24 | 19,64 |

П р и м е ч а н и е. Одинаковыми латинскими буквами обозначены параметры, по которым различия существенны при $p < 0,05$.

В контролируемых условиях данного эксперимента с использованием источников искусственного освещения факторами, которые сигнализируют о приближении тени, являются увеличенные доли спектра слабо- или почти не поглощаемого растениями света в падающем излучении. И прежде всего это зеленый свет (G), а долю которого в составе спектра люминесцентной лампы FL Narva приходится почти половина всего спектра излучения – 46,47 % (см. табл. 1). В остальных вариантах опыта и в контроле на долю зеленого спектра приходится 25,08–28,67 % падающего света.

У растений есть сложные механизмы для восприятия приближения тени. Чтобы максимизировать свою способность конкурировать за свет, растения реагируют на тень удлинением стебля, физиологическими и гормональными изменениями. В последние годы в тепличном растениеводстве спектральный состав источников дополнительного освещения расширили за счет применения различных одиночных или комбинированных длин волн. Показано, что добавление инфракрасного света (FR) положительно влияет на фотосинтез и результирующую биомассу растений [13].

Излучение FR, как и величина соотношения R/FR, регулирует опосредованные фитохромами морфологические реакции и реакции развития растений, способствуя захвату излучения и выживанию в тени. Они оказывают заметное влияние на ростовые процессы и продуктивность растений в контролируемых условиях, а величина соотношения R/FR является наиболее часто обсуждаемым показателем в современных исследованиях [14].

В лесных сообществах верхние части крон деревьев поглощают основную долю красного спектра в диапазоне 650–680 нм. В то же время плохо поглощаемое ими FR-излучение проникает под полог, поэтому растения нижних ярусов находятся в условиях инфракрасного света FR. Среднесуточная величина соотношения R/FR, например, под пологом субтропического влажного леса в Австралии находится в пределах 0,4–0,8 и не подвержена сезонным изменениям [15].

C. Elkins, M. W. van Iersel [16] изучили влияние интенсивности дополнительного дальнего красного света в диапазоне от 4,0 до 68,8 мкмоль/м$^2$/с на рост и морфологию проростков наперстянки «Далматинский персик» (*Digitalis purpurea* L.), выращиваемых под белым светодиодным освещением с плотностью потока фотосинтетических фотонов (PPFD) 186 ± 6,4 мкмоль/м$^2$/с. По мере увеличения доли дальнего красного света сухая масса побега, сухая масса корня, высота растения, а также величина соотношения высота растения/количество листьев увеличивались на 38, 20, 38 и 34 % соответственно, а массовая доля корней уменьшилась на 16 %. Вместе с тем такие морфологические показатели, как удельная площадь листа и компактность кроны, не изменились [17].

Включение FR в спектр излучения источников света при выращивании растений длинного дня (LDP): герани (*Pelargonium hortorum* L. H. Bailey), петунии (*Petunia hybrida* E. Vilm.), львиного зева (*Antirrhinum majus* L.) и недотроги (*Impatiens walleriana* Hook. f.) при 20 °C и 18-часовом фотопериоде мало повлияло на фотосинтез, но увеличило захват излучения и рост растений, а также ускорило последующее цветение видов, избегающих тени [18].

Величина соотношения R/FR регулирует рост путем растяжения, варьируя высоту растений LDP. Высокое соотношение R/FR (в FR-дефицитной световой среде) задерживает начало цветения (но не развитие) у *Campanula carpatica* Jacq. и *C. grandiflora* Pourr. ex Nyman и подавляет развитие цветков (но не инициацию) у *Viola wittrockiana* Gams, а у некоторых видов FR-дефицитная световая среда может подавлять инициацию цветения или развитие [18].

Контроль морфологических параметров имеет важное значение при выращивании в теплицах высокодекоративных тропических растений короткого дня, например пуансеттии (*Euphorbia pulcherrima* Willd. ex Klotzsch) – молочая красивейшего (‘Рождественская звезда’), одного из наиболее экономически ценных видов декоративных горшечных культур в мире. Для получения компактной декоративной формы и уменьшения удлинения побегов обычно прибегают к применению регуляторов роста, которые потенциально опасны для здоровья человека и окружающей среды. В качестве альтернативы использованию гормонов у пуансеттии была изучена реакция на качество света. У этого растения выявлена чувствительность к изменению статуса фитохрома в конце светового дня – *end of day* (EOD). В зависимости от сорта 30-минутное облучение крас-

ным светом (EOD-R) подавляло удлинение побегов до 55 % по сравнению с облучением инфракрасным светом (EOD-FR). При этом снижение удлинения побегов и междоузлий при EOD-R коррелировало с более низкими уровнями гиббереллина и индол-3-уксусной кислоты на 29 и 21 % соответственно [19]. Показано, что фотоморфогенные реакции являются видоспецифичными, однако лишь некоторые из них желательны.

В ЦБС в опытах с выращиванием сеянцев растений тропической флоры (кофе аравийского *Coffea arabica* L. и пестролистного сорта гибискуса китайского *Hibiscus rosa-sinensis* L. ‘Cooperi’) для получения качественной горшечной культуры показано, что использование краткосрочного (до 6 мес.) дополнительного облучения сеянцев с фотопериодом 10 ч полноспектральным светильником LED Uniel и люминесцентными лампами (F. L. Narva, F. L. Osram) с интенсивностью FR в пределах от 2,03 до 4,51 мкмоль/м$^2$/с в спектрах их излучения ускоряло рост и развитие растений относительно контрольного варианта, но имело видовую специфику. У теневыносливого вида *C. arabica* это привело к формированию хорошо облиственных компактных горшечных растений, а у светолюбивого сорта *H. rosa-sinensis* ‘Cooperi’ инициировало удлинение стебля и междоузлий. Культивирование *H. rosa-sinensis* ‘Cooperi’ с использованием светодиодных светильников LED Uniel вызывало более раннее вступление опытных растений в генеративную фазу: цветение наступало на 32 дня раньше, чем у растений, выращенных под люминесцентными лампами FL Narva, и на 51 день раньше по сравнению с растениями, облучаемыми люминесцентными лампами FL Osram [20].

Величина соотношения R/FR в нашем исследовании имеет следующие значения: 1,00 – в контроле (без дополнительного освещения), когда оба параметра находятся в фотохимическом равновесии; в пределах 5,77–6,26 – у люминесцентных ламп FL Narva и FL Osram и 54,43 – у светодиодного источника LED Uniel (табл. 1).

Из этого следует, что растения субтропического вида длинного дня (LDP) *M. communis* по высоте в варианте опыта с люминесцентной лампой FL Narva превышают контрольный вариант на 10,58 см, по числу листьев – на 31,6 шт., по общей листовой поверхности – на 10,03 см$^2$, а сухой массы на 1 см$^2$ листа – на 1,24 мг. Те же параметры у растений тропического вида короткого дня *P. cattleianum* превышают контрольные на 6,3 см, 8,4 шт., 9,3 и 0,39 мг соответственно. Прирост сухого вещества в листьях по сравнению с контролем у растений *M. communis* составил 5,4 %, а у растений *P. cattleianum* снизился на 1,0 %. Это связано не только с высокой долей G-излучения лампы FL Narva, но и с низкой долей ее главной, наиболее активно аккумулируемой листьями красной области спектра (R-излучение – 20,00 %), которая играет важную роль в развитии фотосинтетического аппарата, чистой скорости фотосинтеза и первичном метаболизме растений. Причем у тропического вида короткого дня *P. cattleianum* даже относительно высокое значение соотношения R/FR (5,77) не обеспечивает эффективного фотосинтеза (рис. 2).

Проведем сравнение по тем же показателям результатов облучения опытных растений светодиодным источником LED Uniel (R = 110,5 мкмоль/м$^2$/с; R/FR = 54,43) с лучшим из вариантов облучения люминесцентной лампой – FL Narva (R = 15,24 мкмоль/м$^2$/с; R/FR = 5,77). У субтро-

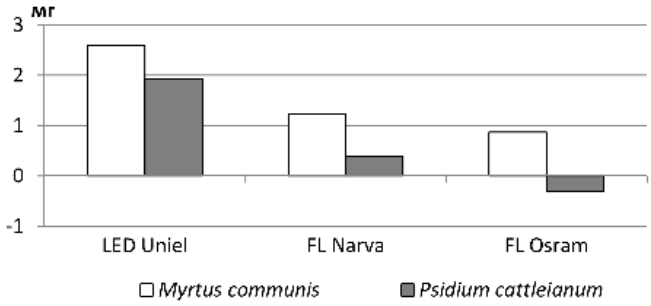



Рис. 2. Прирост сухой массы на 1 см$^2$ листа (мг) у опытных растений *Myrtus communis* L. и *Psidium cattleianum* Sabine в условиях разной освещенности относительно контроля

Fig. 2. Dry weight gain per 1 cm$^2$ leaf (mg) in experimental plants *Myrtus communis* L. and *Psidium cattleianum* Sabine under different lighting conditions relative to control

пического вида *M. communis* превышение по высоте растений, облученных LED-лампой, составляет 3,26 см, по числу листьев – 32,0 шт., по общей листовой поверхности – 5,05 см$^2$, по приросту сухого вещества – 1,36 мг/см$^2$, а у тропического вида короткого дня *P. cattleianum* – 2,9 см, 6,6 шт., 10,93 см$^2$, 1,54 мг/см$^2$ соответственно.

Следовательно, эффективность фотосинтеза у растений *M. communis* в варианте с облучением лампой LED Uniel (R/FR = 54,43) оказалась более чем вдвое, а у *P. cattleianum* – более чем в 10 раз выше, чем в вариантах с облучением люминесцентными лампами. Тропический вид короткого дня, как показали результаты данного эксперимента, по показателю прироста сухой массы на 1 см$^2$ листа в большей степени положительно реагируют на облучение красным светом, чем субтропический вид длинного дня (рис. 2).

**Заключение.** Изучено влияние интенсивности и спектрального состава света светодиодного (LED) и люминесцентных (FL) излучателей на морфогенез сеянцев *Myrtus communis* L. и *Psidium cattleianum* Sabine (*Myrtaceae*) в малообъемной оранжерейной культуре в Центральном ботаническом саду НАН Беларуси. Показано, что по высоте растений, числу и общей поверхности листьев, а также по удельной сухой массе листа сеянцы обоих видов за 120 дней выращивания во всех вариантах с облучением превосходили контрольные растения. На прирост сухой массы на 1 см$^2$ листа (в мг по отношению к контролю), характеризующего продуктивность фотосинтеза, оказал влияние спектральный состав излучения, позволивший выявить межвидовые и межвариантные различия. В варианте с лампой FL Narva с плотностью общего фотонного потока PFD = 76,22 мкмоль/м$^2$/с, с долей зеленого спектра PFD-G = 46,47 %, красного – PFD-R = 20,00 % и с соотношением R/FR = 5,77 у субтропического вида длинного дня *M. communis* он составил 1,24 мг, а у тропического вида короткого дня *P. cattleianum* – всего 0,4 мг. У обоих видов, облученных LED-лампой с плотностью фотонного потока PFD = 186,20 мкмоль/м$^2$/с, с долей PFD-R = = 59,34 % и при R/FR = 54,43 величина прироста составила 2,60 и 1,93 мг соответственно по отношению к контролю, но в механизме ответной реакции видов на облучение выявлены различия.

Для растения *M. communis* в варианте с облучением люминесцентной лампой FL Narva ее следует рассматривать в качестве типичной ответной реакции избегания тени в R-дефицитной световой среде с высокой долей в ней зеленого спектра. Для растений *P. cattleianum* эффективный прирост удельной сухой массы листа в варианте с облучением светодиодным источником LED Uniel легко объясняется высокой плотностью фотонного потока в красной области его спектра: PFD-R = 59,34 %. На основании полученных результатов можно заключить, что светодиодные источники являются наиболее эффективными в отношении продуктивности фотосинтеза и получения качественной продукции в малообъемной оранжерейной культуре растений короткого и длинного дня.

## Список использованных источников

1. WFO (2023): World Flora Online [Electronic resource]. – Mode of access: http://www.worldfloraonline.org. – Date of access: 01.03.2023.

2. Кабушева, И. Н. Семейство *Myrtaceae* Juss. в коллекционном фонде оранжерейных растений ЦБС НАН Беларуси / И. Н. Кабушева // Интродукция, сохранение и использование биологического разнообразия флоры : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию Центр. бот. сада НАН Беларуси, Минск, 28 июня – 1 июля 2022 г. : в 2 ч. / редкол. : В. В. Титок (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Ч. I. – С. 151–153.

3. Belkov, V. Mechanism of plant adaptation to changing illumination by rearrangements of their photosynthetic apparatus / V. Belkov, E. Y. Garnik, Y. M. Konstantinov // Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology: Proc. of the Fifth int. sci. conf. PlantGen2019 (June 24–29, 2019, Novosibirsk, Russia) / eds. A. Kochetov, E. Salina ; Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. – Novosibirsk, 2019. – P. 101–103.

4. Agarwal, A. Impact of light-emitting diodes (LEDs) and its potential on plant growth and development in controlled-environment plant production system / A. Agarwal, S. D. Gupta // Curr. Biotechnol. – 2016. – Vol. 5, N 1. – P. 28–43. https://doi.org/10.2174/2211550104666151006001126

5. An RNA-seq analysis of grape plantlets grown *in vitro* reveals different responses to blue, green, red LED light, and white fluorescent light / Li C. X. [et al.] // Front. Plant Sci. – 2017. – Vol. 8, N 78. – P. 1–16. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00078

6. Liu, H. Green light enhances growth, photosynthetic pigments and $CO_2$ assimilation efficiency of lettuce as revealed by 'knock out' of the 480–560 nm spectral waveband / H. Liu, Y. Fu, M. Wang // Photosynthetica. – 2017. – Vol. 55, N 1. – P. 144–152. https://doi.org/10.1007/s11099-016-0233-7

7. Wang, Y. Contributions of green light to plant growth and development / Y. Wang, K. M. Folta // Am. J. Bot. – 2013. – Vol. 100, N 1. – P. 70–78. https:// doi.org/10.3732/ajb.1200354

8. Analyzing photosynthetic activity and growth of *Solanum lycopersicum* seedlings exposed to different light qualities / Q. Wu [et al.] // Acta Physiol. Plant. – 2014. – Vol. 36. – P. 1411–1420. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1519-7

9. Hernández, R. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs / R. Hernández, C. Kubota // Environ. Exp. Bot. – 2016. – Vol. 121. – P. 66–74. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001

10. Photomorphogenesis (With Diagram). Plant Physiology [Electronic resource]. – Mode of access: https://www.biologydiscussion.com/plant-physiology-2/photomorphogenesis/photomorphogenesis-with-diagram-plant-physiology/23766. – Date of access: 01.03.2023.

11. McCree, K. J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants / K. J. McCree // J. Agric. Meteorol. – 1972. – Vol. 9. – P. 191–216. http://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7

12. Zhen, S. Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis / S. Zhen, M. W. van Iersel // J. Plant Physiol. – 2017. – Vol. 209. – P. 115–122. http://doi.org/10.1016/j. jplph.2016.12.004

13. Sánchez-Lamas, M. Bottom up assembly of the phytochrome network / M. Sánchez-Lamas, C. D. Lorenco, P. D. Cerdán // PLOS Genetics. – 2016. – Vol. 12, N 11. – P. 1–24. https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006413

14. Kump, B. The role of far-red light (FR) in photomorphogenesis and its use in greenhouse plant production / B. Kump // Acta Agric. Slov. – 2020. – Vol. 116, N 1. – P. 93–105. https://doi.org/10.14720/aas.2020.116.1.1652

15. Turnbull, H. Seasonal variation in the red/far-red ratio and photon flux density in an Australian sub-tropical rainforest / H. Turnbull, D. J. Yates // Agric. For. Meteorol. – 1993. – Vol. 64, N 1–2. – P. 111–127. https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90096-Z

16. Elkins, C. Supplemental far-red light-emitting diode light increases growth of foxglove seedlings under sole-source lighting / C. Elkins, M. W. van Iersel // HortTechnology. – 2020. – Vol. 30, N 5. – P. 564–569. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04661-20

17. Park, Y. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation / Y. Park, E. S. Runkle // Environ. Exp. Bot. – 2017. – Vol. 136. – P. 41–49. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013

18. Runkle, E. S. Specific functions of red, far-red, and blue light in flowering and stem extension of long-day plants / E. S. Runkle, R. D. Heins // J. Am. Soc. Hortic. Sci. – 2001. – Vol. 126, N 3. – P. 275–282. https://doi.org/10.21273/JASHS.126.3.275

19. Impact of end-of-day red and far-red light on plant morphology and hormone physiology of poinsettia / M. A. Islam [et al.] // Sci. Hortic. – 2014. – Vol. 174. – P. 77–86. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.013

20. Кабушева, И. Н. Влияние искусственного освещения на рост и развитие растений *Coffea arabica* L. и *Hibiscus rosa-sinensis* L. cv. Cooperi / И. Н. Кабушева, Н. Л. Сак // Науч. тр. Чебоксар. филиала Глав. бот. сада им. Н. В. Цицина РАН. – 2020. – Вып. 15. – С. 31–37.

## References

1. *WFO (2023): World Flora Online*. Available at: http://www.worldfloraonline.org (accessed 01.03.2023).

2. Kabusheva I. N. Family *Myrtaceae* Juss. in the collection fund of greenhouse plants of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. *Introduktsiya, sokhranenie i ispol'zovanie biologicheskogo raznoobraziya flory: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu Tsentral'nogo botanicheskogo sada Natsional'noi akademii nauk Belarusi (28 iyunya – 1 iyulya 2022 goda, Minsk, Belarus').* [Introduction, conservation and use of the biological diversity of flora: materials of the International scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (June 28 – July 1, 2022, Minsk, Belarus)]. Minsk, 2022, pt. 1, pp. 151–153 (in Russian).

3. Belkov V., Garnik E. Y., Konstantinov Y. M. Mechanism of plant adaptation to changing illumination by rearrangements of their photosynthetic apparatus. *Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology: Proceedings of the Fifth international scientific conference PlantGen2019 (Novosibirsk, Russia, 24–29 June, 2019).* Novosibirsk, 2019, pp. 101–103.

4. Agarwal A., Gupta S. D. Impact of light-emitting diodes (LEDs) and its potential on plant growth and development in controlled-environment plant production system. *Current Biotechnology*, 2016, vol. 5, no. 1, pp. 28–43. https://doi.org/10.2174/2211550104666151006001126

5. Li Ch., Xu Z.-G., Chang S.-X., Dong R.-Q. An RNA-seq analysis of grape plantlets grown *in vitro* reveals different responses to blue, green, red LED light, and white fluorescent light. *Frontiers in Plant Science*, 2017, vol. 8, no. 78, pp. 1–16. https:// doi.org/10.3389/fpls.2017.00078

6. Liu H., Fu Y., Wang M. Green light enhances growth, photosynthetic pigments and $CO_2$ assimilation efficiency of lettuce as revealed by 'knock out' of the 480–560 nm spectral waveband. *Photosynthetica*, 2017, vol. 55, no. 1, pp. 144–152. https://doi.org/10.1007/s11099-016-0233-7

7. Wang Y., Folta K. M. Contributions of green light to plant growth and development. *American Journal of Botany*, 2013, vol. 100, no. 1, pp. 70–78. https://doi.org/10.3732/ajb.1200354

8. Wu Q., Su N., Shen W., Cui J. Analyzing photosynthetic activity and growth of *Solanum lycopersicum* seedlings exposed to different light qualities. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2014, vol. 36, pp. 1411–1420. https://doi.org/10.1007/s11738-014-1519-7

9. Hernández R., Kubota C. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, vol. 121, pp. 66–74. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2015.04.001

10. *Photomorphogenesis (With Diagram). Plant Physiology.* Available at: https://www.biologydiscussion.com/plant-physiology-2/photomorphogenesis/photomorphogenesis-with-diagram-plant-physiology/23766 (accessed 01.03.2023).

11. McCree K. J. The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1972, vol. 9, pp. 191–216. http://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7

12. Zhen S., van Iersel M. W. Far-red light is needed for efficient photochemistry and photosynthesis. *Journal of Agricultural Meteorology*, 2017, vol. 209, pp. 115–122. http://doi.org/10.1016/j. jplph.2016.12.004

13. Sánchez-Lamas M., Lorenco C. D., Cerdán P. D. Bottom up assembly of the phytochrom network. *PLOS Genetics,* 2016, vol. 12, no. 11, pp. 1–24. https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1006413

14. Kump B. The role of far-red light (FR) in photomorphogenesis and its use in greenhouse plant production. *Acta Agriculturae Slovenica*, 2020, vol. 116, no. 1, pp. 93–105. https://doi.org/10.14720/aas.2020.116.1.1652

15. Turnbull H., Yates D. J. Seasonal variation in the red/far-red ratio and photon flux density in an Australian sub-tropical rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 1993, vol. 64, no. 1–2, pp. 111–127. https://doi.org/10.1016/0168-1923(93)90096-Z

16. Elkins C., van Iersel M. W. Supplemental far-red light-emitting diode light increases growth of foxglove seedlings under sole-source lighting. *HortTechnology*, 2020, vol. 30, no. 5, pp. 564–569. https://doi.org/10.21273/HORTTECH04661-20

17. Park Y., Runkle E. S. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environmental and Experimental Botany*, 2017, vol. 136, pp. 41–49. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.12.013

18. Runke E. S., Heins R. D. Specific functions of red, far-red, and blue light in flowering and stem extention of long-day plants. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2001, vol. 126, no. 3, pp. 275–282. https://doi.org/10.21273/JASHS.126.3.275

19. Islam Md. A., Tarkowská D., Clarke J. L., Blystad D.-R. Impact of end-of-day red and far-red light on plant morphology and hormone physiology of poinsettia. *Scientia Horticulturae*, 2014, vol. 174, no. 1, pp. 77–86. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.013

20. Kabusheva I. N., Sak N. L. Effect of artificial lighting on the growth and development of *Coffea arabica* L. and *Hibiscus rosa-sinensis* L. cv. Cooperi. *Nauchnye trudy Cheboksarskogo filiala Glavnogo botanicheskogo sada im. N. V. Tsitsina RAN* [Scientific works of the Cheboksary branch of the Main Botanical Garden named after N. V. Tsitsina RAS], 2020, iss. 15, pp. 31–37 (in Russian).

## Информация об авторах

*Гетко Нелли Владимировна* – д-р биол. наук, доцент, гл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: n.hetko@cbg.org.by

*Кабушева Ирина Николаевна* – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: I.Kabusheva@cbg.org.by

*Сак Наталья Леонидовна* – науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nkorolevas@mail.ru

*Титок Владимир Владимирович* – член-корреспондент, д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: titok@cbg.org.by

## Information about the authors

*Nelly V. Hetko* – D. Sc. (Biol.), Associate Professor, Chief Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: n.hetko@cbg.org.by

*Irina N. Kabusheva* – Ph. D. (Biol.), Leading Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: I.Kabusheva@cbg.org.by

*Nataliya L. Sak* – Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nkorolevas@mail.ru

*Vladimir V. Titok* – Corresponding Member, D. Sc. (Biol.), Chief Researcher. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganov Str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: titok@cbg.org.by