

ISSN 1029-8940 (Print)

ISSN 2524-230X (Online)

УДК [635.9.044:582.581]:581.1.043

<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-1-16-23>

Поступила в редакцию 25.08.2021

Received 25.08.2021

Н. В. Гетко¹, Н. А. Бурчик¹, М. И. Баркун², В. В. Титок¹

¹Центральный ботанический сад НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

²Центр светодиодных и оптоволоконных технологий НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА МОРФОГЕНЕЗ КУЛЬТИВИРУЕМОЙ В ОРАНЖЕРЕЕ ЭПИФИТНОЙ ОРХИДЕИ *CATTLEYA LABIATA* LINDL.

Аннотация. В работе проведена оценка влияния трех видов LED-ламп с различным спектральным составом излучения и потоком фотонов фотосинтеза – PPG T8I Agro (37), Navigator DSP-FITO (47.5) и ДДП06-3×8-004 УХЛ 4 ‘Home Farm’ (100) – на морфогенез культивируемой в оранжерее орхидеи *Cattleya labiata* Lindl. Степень влияния спектрального состава света на морфогенез растений *C. labiata* оценена с помощью таких параметров, как толщина годовых листьев, процент сухого вещества и прирост биомассы на единицу поверхности листа (мкг/см²) за период 140 дней. Спектральные характеристики LED-лампы ДДП06-3×8-004 УХЛ 4 ‘Home Farm’ с белым свечением, интенсивностью PPF 100 рассматриваются в качестве наиболее благоприятных для успешного культивирования орхидеи *Cattleya labiata* в условиях оранжерей. При сочетании в составе спектра красного и зеленого спектров с величиной их соотношения, равной 1,3, и красного и синего спектров с величиной их соотношения, равной 3,34, наблюдается более высокий уровень накопления сухой массы на единицу поверхности листа при сохранении характерных для данного вида орхидей морфоструктурных параметров.

Ключевые слова: эпифиты, орхидеи, *Cattleya labiata*, оранжерейная культура, LED-лампы, спектры излучения, толщина листа, биомасса

Для цитирования: Влияние спектрального состава света на морфогенез культивируемой в оранжерее эпифитной орхидеи *Cattleya labiata* Lindl. / Н. В. Гетко [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біял. навук. – 2022. – Т. 67, № 1. – С. 16–23. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-1-16-23>

Nelly V. Hetko¹, Natalia A. Burchik¹, Michael I. Barkun², Vladimir V. Titok¹

¹Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

²Center for LED and Fiber Optic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

INFLUENCE OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF LIGHT ON THE MORPHOGENESIS OF THE EPIPHYTIC ORCHID *CATTLEYA LABIATA* LINDL. CULTIVATED IN THE GREENHOUSE

Abstract. This work evaluates the test results of 3 types of LED lamps with different spectral composition of radiation and photon flux of photosynthesis (PPF, $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$): PPG T8I Agro (37), Navigator DSP-FITO (47.5) and DDP06-3×8-004 UHL 4 ‘Home Farm’ (100), in the greenhouse culture of the orchid *Cattleya labiata* Lindl. The parameters of the thickness of annual leaves, the percentage of dry matter and the increase in biomass per unit of leaf surface ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) formed over a period of 140 days were used as indicators to assess the degree of influence of the spectral composition of light on the morphogenesis of *C. labiata* plants. The spectral characteristics of the LED lamp DDP06-3×8-004 UHL 4 ‘Home Farm’ with a white glow, intensity PPF 100 are considered as the most favorable for the successful greenhouse cultivation of the orchid *Cattleya labiata* Lindl. The combination in its spectrum of red and green spectra with their ratio equal to 1.3, and when the ratio of red and blue spectra equal to 3.34, a higher level of dry matter accumulation is observed per unit of leaf surface area white maintaining parameter of the leaf structure characteristic of a given plant species.

Keywords: epiphytes, orchids, *Cattleya labiata*, greenhouse culture, LED lamps, emission spectra, leaf thickness, biomass

For citation: Hetko N. V., Burchik N. A., Barkun M. I., Titok V. V. Influence of the spectral composition of light on the morphogenesis of the epiphytic orchid *Cattleya labiata* Lindl. cultivated in the greenhouse. *Vesti Natsyyanal'nei akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2022, vol. 67, no. 1, pp. 16–23 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2022-67-1-16-23>

Введение. Орхидеи (*Orchidaceae* Juss.) – это, пожалуй, одна из первых групп растений мировой тропической и субтропической эпифитной флоры, для которой использование искусственных источников света, в том числе и светодиодных излучателей, стало наиболее распространенной практикой в репродукции высокодекоративных, исчезающих и охраняемых в природе видов

с целью сохранения их в условиях искусственного климата. Одновременно это послужило основой для развития такой высокодоходной отрасли хозяйственной деятельности, как производство цветочной продукции (в срезке и в субстратной культуре), получившее наибольшее распространение в странах Юго-Восточной Азии и Азиатско-Тихоокеанского региона. Основная роль в этом плане отводится представителям родов *Phalaenopsis*, *Cymbidium*, *Cattleya*, *Oncidium* и их многочисленным сортам и гибридам.

Но прежде следует понять, какая роль отводится свету при адаптации к нему эпифитов в местах их естественного обитания и при освоении ими новых экологических ниш.

Большинство исследователей делят эпифиты в соответствии с экологическими нишами, которые они занимают в кроне дерева-хозяина, и модель самой дробной классификации была предложена D. R. Johansson [1]. Согласно этой модели, существует корреляция между двумя группами экологических факторов и распределением эпифитных орхидей вдоль больших ветвей дерева-хозяина. В первую группу факторов входят относительная влажность воздуха, влажность кроны, наличие в ней слоя гумуса, во вторую – освещенность, температура воздуха, сила ветра.

D. H. Benzing [2] уточнил, что определяющим фактором при заселении полога дерева эпифитами является степень доступности влаги. На основании этого он разделил их на CS-эпифиты – постоянно снабжаемые влагой (continuous supplied) и PS-эпифиты – периодически обеспечиваемые влагой (pulse supplied). Как правило, PS-эпифиты – это миниатюрные светолюбивые (гелиофильные) орхидеи, которые занимают наружную часть кроны, где они находятся в экстремальных условиях из-за частого пересыхания и бедности субстрата. Орхидеи CS-эпифиты более пластичны и при определенных условиях могут распространяться вдоль стволов и ветвей, переходя из одной экологической ниши в другую, что связано с их способностью развивать как воздушные, так и субстратные корни. Этот тип эпифитов представлен большинством орхидей в разных растительных сообществах тропиков земного шара, и *Cattleya labiata* является одной из них.

При изучении P. J. Cribb и H. Pfennig процесса акклиматизации орхидеи с детерминированным ростом *Pleione aurita* к свету путем исследования ее морфогенеза и фотосинтеза получены данные, проливающие свет на физиологические реакции эпифитов в условиях высокодинамичной среды их обитания (на деревьях). Высказано предположение о возможном изменении толщины годовых листьев орхидных под влиянием спектрального состава света [3].

В условиях оранжерей к определяющим факторам успешного выращивания орхидей эпифитов следует отнести свет, и исследования на начальном этапе касались изучения влияния отдельных участков спектра на рост и развитие растений. Было показано, что продуктивность и эффективность оранжерейной культуры высокодекоративных орхидей при использовании современных технологий искусственного освещения напрямую зависят от качества света. Например, было установлено [4], что скорость иницирования органогенеза *in vitro* у гибрида *Cattleya intermedia* × *C. aurantiaca* зависит от длины волны применяемого монохроматического света. Красный и синий свет были эффективны в запуске органогенеза. Коэффициенты размножения у растений при освещении красным, синим, белым светом и в темноте составили 1,7; 10,6; 8,3 и 6,2 соответственно. Общее содержание хлорофилла и каротиноидов было самым высоким в культурах, освещенных белым светом, постепенно снижаясь при переходе спектра освещения от синего к красному и дальнему красному свету. Это согласуется с результатами, полученными L. Mengxi с соавт. [5] в опытах по размножению сорта орхидеи *Oncidium* ‘Gower Ramsey’. При синем свете повышалась эффективность микроразмножения и иницировался ризогенез, удлинялись воздушные корни, а полученные в результате растения соответствовали исходным образцам.

Следует отметить, что потребность в интенсивности освещения для *Cattleya labiata* в местах ее естественного ареала находится в пределах 25–40 тыс. лк [6]. В условиях оранжерей умеренной климатической зоны тропические крупноцветковые орхидеи секции *Cattleya* Lindley, которые сохраняются в коллекциях ботанических садов России и Украины, выращиваются при температуре 20–24 °С, влажности воздуха 65–85 % на белом свету при освещенности 7–10 тыс. лк [6, 7]. В Сибирском ботаническом саду Томского государственного университета для содержания коллекции и размножения красивоцветущих тропических орхидей используют люминесцентные

лампы типа Philips TLD 18W-640 со спектром, охватывающим практически весь диапазон фотосинтетической активной радиации, что обеспечивает продолжительность светового дня в зимний период до 10–16 ч и освещенность до 3 клк [8].

Цель данного исследования – изучение влияния спектрального состава света на морфогенез *Cattleya labiata*, выращиваемой в условиях оранжерей Центрального ботанического сада НАН Беларуси с использованием ряда светодиодных источников излучения для дополнительного освещения.

Объекты и методы исследования. Эксперименты проводили в Центральном ботаническом саду (ЦБС) НАН Беларуси, г. Минск (53° 53' с. ш., 27° 34' в. д.). Дневная температура в оранжерее составляла 22–30 °С, ночная – 16–18 °С, относительная влажность воздуха – 70 %, освещенность – 7–10 тыс. лк.

Объектом исследования являлась каттлея губастая (*Cattleya labiata* Lindl.) – симподиальная однолистная эпифитная орхидея с широким ареалом, естественно произрастающая в горных районах на северо-востоке Бразилии, в штатах Пернамбуко, Параиба и Сеара. Вид впервые обнаружен Уильямом Суэйнсоном в 1817 г. в провинции Пернамбуко. Эндемик Бразилии. Поселяется на стволах деревьев, а также на голых или покрытых лишайниками скалах, как в тени, так и на открытых участках [6]. Относится к семейству *Orchidaceae* Juss., подсемейству *Epidendroideae*, трибе *Epidendreae*, подтрибе *Laeliinae*, роду и подроду *Cattleya*, секции *Cattleya* Lindley. Туберидии растения высотой 12–30 см, булабовидные, немного сплюснутые, покрыты зеленоватыми тонкими чехлами, однолистные. Лист длинный, продолговатый, широкий, кожистый, закругленный на конце, 15–25 см в длину и 6 см в ширину. Цветонос короткий, прямостоячий, несет 2–5 цветков, собранных в соцветие. Цветы появляются из двойного чехла, плотной текстуры, ароматные, диаметром 12–18 см. Лепестки светло-розовые, к краям более яркие. Губа крупная, насыщенного пурпурного цвета, переходящего к краю в темно-сиреневый цвет (рис. 1). Период цветения – ноябрь, декабрь.

Экспериментальные растения выращивали в субстрате из коры, используя прозрачные пластмассовые контейнеры диаметром 6 см и стеллажные световые шкафы, оснащенные тремя видами светодиодных светильников LED: 1 – PPG T8I Agro; 2 – Navigator DSP-FITO с соотношением красного (650 нм) и синего (450 нм) света 5:1 и 1:1 соответственно; 3 – мультиспектральный светодиодный источник ДДП06-3×8-004 УХЛ4 'Home Farm'. Длина светового периода в варианте с дополнительным облучением – 12 ч; контроль – естественное освещение без дополнительного облучения. В каждом варианте опыта было по 10 растений. Период проведения опыта – 140 дней (с марта по сентябрь).

Светодиодный светильник ДДП06-3×8-004 УХЛ4 'Home Farm' является отечественной разработкой и производится Республиканским научно-производственным унитарным предприятием «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси». Основные характеристики светильника: поток излучения – 10 Вт, поток фотонов – 50 мкмоль/с. Источник излучения имеет широкий диапазон длин волн, включая фотосинтетически активную радиацию. Наличие в излучении квантов света различных длин волн позволяет изучать все фотобиологические процессы, присущие растительным организмам.



Рис. 1. Цветущая орхидея каттлея губастая (*Cattleya labiata* Lindl.) в коллекционном фонде ЦБС НАН Беларуси (фото Н. А. Бурчик)

Fig. 1. Flowering orchid *Cattleya labiata* Lindl. in the collection fund of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (photo N. Burchik)

В качестве источника света использовали высокоэффективные энергосберегающие светодиоды в сочетании со специальной технологией получения оптимального спектра на основе люминофорных композиций отечественной разработки.

Облученность растений в эксперименте определяли на уровне верхушки растений с помощью спектрометра PAR PG200N.

Листья, образовавшиеся за время эксперимента, были отобраны для приготовления поперечных срезов, фотографии которых получены при 10- и 40-кратном увеличении на микроскопе Olympus VX46. Анализ морфометрических параметров осуществляли с помощью программного обеспечения ImageJ, для статистической обработки полученных данных использовали компьютерную программу Statistica.

Результаты и их обсуждение. Степень влияния спектрального состава света на морфогенез растений *Cattleya labiata* оценивали по таким показателям, как толщина годовых листьев, процент сухого вещества и прирост его биомассы на единицу поверхности листа (мкг/см²) за период 140 дней (см. таблицу).

Влияние спектрального состава света на морфогенез листьев эпифитной орхидеи *Cattleya labiata* Lindl. в оранжерейной культуре

Influence of the spectral composition of light on the morphogenesis of leaves of the epiphytic orchid *Cattleya labiata* Lindl. in the greenhouse culture

Исследуемый параметр	Светодиодный источник LED			Естественное освещение (контроль)
	PPG T8I Agro (вариант 1)	Navigator DSP-FITO (вариант 2)	ДДП06-3×8-004 УХЛ4 Home Farm (вариант 3)	
<i>Спектральные характеристики света</i>				
PPFD, мкмоль/м ² /с	30,26	38,15	88,00	22,39
PFD, мкмоль/м ² /с	37,2	47,46	99,36	31,46
PFD-B: мкмоль/м ² /с % от PFD	6,38 17,15	6,71 14,14	13,00 13,08	5,24 16,66
PFD-G: мкмоль/м ² /с % от PFD	3,96 10,64	4,80 10,10	31,60 31,80	8,31 26,41
PFD-R: мкмоль/м ² /с, % от PFD	19,93 53,6	26,64 56,13	43,34 43,62	8,84 28,13
PFD-FR: мкмоль/м ² /с % от PFD	6,58 17,70	8,98 18,92	11,04 11,11	8,42 28,76
PFD-UV: мкмоль/м ² /с % от PFD	0,40 1,07	0,33 0,70	0,38 0,38	0,65 2,07
<i>Соотношение частей спектров</i>				
B/G	1,61	1,40	0,41	0,63
R/G	5,00	5,05	1,31	1,37
FR/G	1,66	1,87	0,35	1,01
R/B	3,12	3,97	3,34	1,69
R/FR	3,03	2,97	3,93	1,05
<i>Морфометрические параметры листа</i>				
Толщина, мкм	842,72 ± 37,76	1387,81 ± 149,05	1280,37 ± 90,18	1314,60 ± 73,7
% сухого вещества	9,13 ± 2,02	10,76 ± 0,46	11,64 ± 0,43	8,46 ± 1,04
Сухая масса, мкг/см ²	11,96 ± 5,96	19,62 ± 3,55	17,11 ± 1,84	14,10 ± 3,90

П р и м е ч а н и е. PPFD (photosynthetic photon flux density – фотосинтетическая облученность) – количество фотонов, падающее на 1 м²/с в диапазоне длин волн 400–700 нм; PFD (photon flux density – фотонная облученность) – количество фотонов, падающее на 1 м²/с в диапазоне длин волн 380–780 нм; PFD-R, PFD-G, PFD-B, PFD-FR, PFD-UV – фотонная облученность в красной (600–700 нм), зеленой (500–600 нм), синей (400–500 нм), дальней красной (700–780 нм) и ультрафиолетовой (380–400 нм) областях спектра соответственно.

Как следует из приведенных данных, все исследуемые параметры листьев, сформированных за период испытаний с облучением растений *Cattleya labiata* лампами LED с различными спектральными характеристиками света (варианты 1–3), показали не только существенные отклонения от контроля, но и различия при межвариантном сравнении, подтверждая высокую чувствительность фотосинтезирующих органов орхидеи *Cattleya labiata* к качеству света в условиях оранжерейной культуры.

При сравнении полных спектров излучения приведенных выше светодиодных ламп LED обнаружена существенная разница между ними в интенсивности освещения в диапазоне PFD 37–99 мкмоль/м²/с, а также между долями красного, синего, зеленого и дальнего красного спектров соответственно по сравнению с контролем (без облучения).

Как следует из приведенных данных, в спектре LED-ламп с низкой интенсивностью света PPG T8I Agro (PPF 37) и Navigator DSP-FITO (PPF 47.5) преобладает доля красного спектра (PFD-R), которая составляет 37 мкмоль/м²/с (53,6 %) и 47,5 мкмоль/м²/с (56,1 %) соответственно. В первом варианте опыта за период наблюдений сформировались самые тонкие листья, но содержание в них сухого вещества было сравнимо или незначительно превосходило аналогичный показатель в контроле. Согласно данным, приведенным в работе Т. Cybularz-Urban с соавт. [4], красный монохроматический свет вызывает разрушение клеток мезофилла листа и уменьшение листовой пластинки у черенков *Cattleya hybrid*, что частично может быть снято путем добавления синего света. Доля синего спектра в варианте с облучением лампой PPG T8I Agro (17,2 %) превосходит другие варианты, однако толщина листа и показатели продуктивности биомассы на единицу поверхности листа (мкг/см²) остаются ниже по сравнению с контролем: 842,7 против 1314,6 и 11,6 против 14,1 соответственно. Это может быть обусловлено тем, что интенсивности излучения данной лампы (PPF 37), необходимой для эффективного осуществления фотосинтеза у растений орхидеи *Cattleya labiate*, недостаточно.

В варианте с облучением лампой Navigator DSP-FITO исследуемые параметры листа (толщина пластинки и накопление биомассы) у растений данного вида характеризовались значениями, превышающими аналогичные показатели в контроле и других вариантах опыта (1387,8 мкм и 19,4 мкг/см²), что может быть обусловлено величиной соотношения спектров красного и синего (в первом варианте – 3:1, во втором – 4:1). Доля синего света в этом варианте опыта была сравнительно ниже (14,1 %), однако, в отличие от других вариантов опыта и контроля, при сравнительно низкой интенсивности облучения (PPF47,5) у растений *Cattleya labiata* формировались самые толстые листья и отмечалась более высокая биомасса сухого вещества в расчете на единицу поверхности листа (19,4 мкг/см²). Очевидно, что спектральный состав света LED-лампы Navigator DSP-FITO является для *Cattleya labiata* более эффективным в отношении увеличения биомассы на единицу поверхности листа и его толщины. Но для растений природной флоры, культивируемых в оранжереях, главным условием является сохранение их видовых признаков. А поскольку толщина листа является одним из них, то для культивирования орхидеи *Cattleya labiata* световые условия с использованием LED-ламп Navigator DSP-FITO и PPG T8I Agro неприемлемы, так как в этом случае могут быть сформированы растения с морфологически измененными параметрами видового признака.

В условиях естественного освещения в оранжереях, независимо от климатической зоны, все видовые морфологические признаки листа у растений сохраняются, и в качестве контрольного варианта в данных исследованиях нами выбраны условия естественного освещения без использования дополнительного.

При культивировании растений *Cattleya labiata* с использованием мультиспектральной LED-лампы ДДП06-3×8-004 УХЛ 4 ‘Home Farm’ с белым свечением и с вдвое более высокой интенсивностью облучения (PPF 100) по сравнению с приведенными выше LED-лампами у растений были сформированы листья, сравнимые с контрольными по толщине (рис. 2), но с большей долей сухой массы (%) – 11,62 против 8,46, а в расчете на единицу листовой поверхности (мкг/см²) – 17,11 против 14,1 (см. таблицу), что свидетельствует о более высокой эффективности использования в фотосинтезе растениями *Cattleya labiata* энергии светового потока LED-лампы ДДП06-3×8-004 УХЛ 4 ‘Home Farm’, у которой почти треть (32 %) излучения при данной плотности приходится на зеленую область спектра (PFD-G = 32 мкмоль/м²/с). Излучение данной лампы с соотношением красной и зеленой частей ее спектра, равным 1,3, и оптимальным для LED-ламп соотношением красного и синего спектров на уровне 3,4 обуславливает более высокий уровень накопления сухой массы на единицу поверхности листа и сохранение характерных для вида его морфоструктурных параметров.

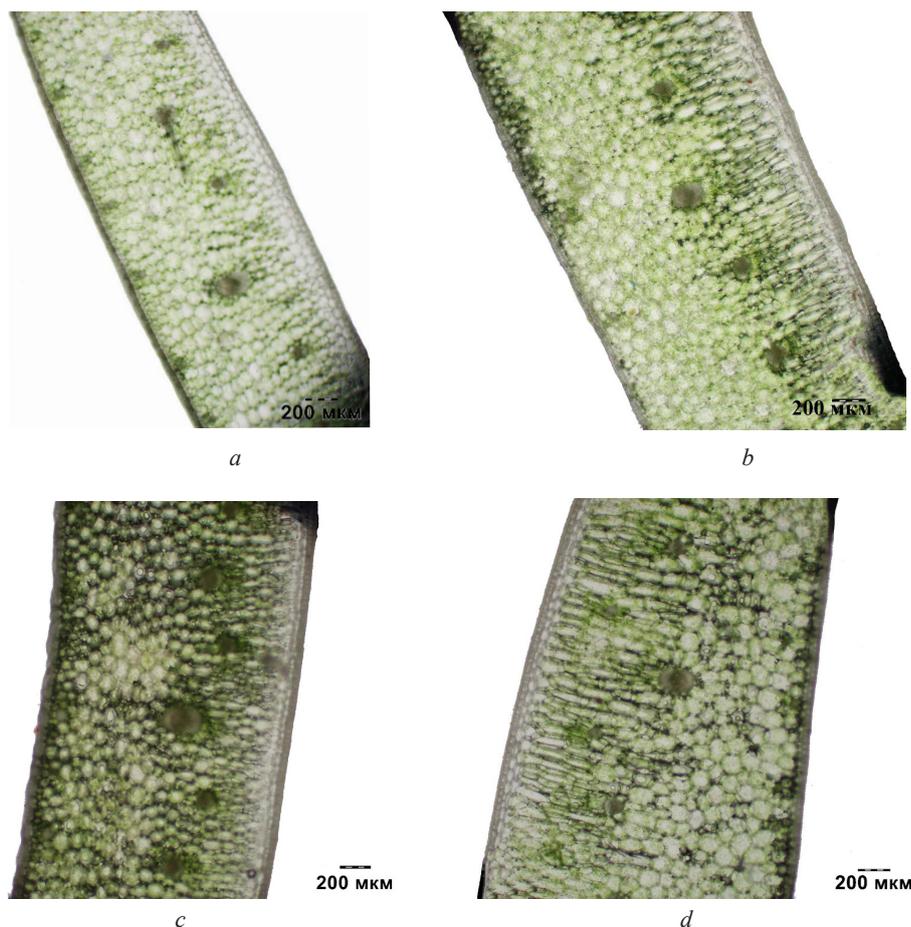


Рис. 2. Поперечные срезы годовых листьев *Cattleya labiata* Lindl., сформированных за период 140 дней выращивания в оранжерее с использованием LED-ламп с разными интенсивностью и спектрами излучения: *a* – PPG T8I Agro (PPF 37); *b* – Navigator DSP-FITO (PPF47.5); *c* – ДДП06-3×8-004 УХЛ 4 ‘Home Farm’ (PPF 100); *d* – контроль

Fig. 2. Cross sections of annual leaves of *Cattleya labiata* Lindl., formed over a period of 140 days of cultivation in a greenhouse in versions using LED lamps of various intensities and emission spectra: *a* – PPG T8I Agro (PPF 37); *b* – Navigator DSP-FITO (PPF47.5); *c* – ДДП06-3×8-004 UHL 4 ‘Home Farm’ (PPF 100); *d* – the control

В настоящее время активно изучается вопрос о роли и эффективности зеленого спектра в регуляции метаболизма у растений. R. M. Klein с соавт. [9] в исследованиях, касающихся изучения влияния зеленого света на биологические системы, показали, что зеленый свет в диапазоне длин волн 510–585 нм подавляет рост широкого ряда организмов, включая водоросли, грибы, высшие растения и даже культуры клеток растений.

Однако существует и другая точка зрения. Известно, что красный и синий свет стимулируют фотосинтетический метаболизм у автотрофов. Но зеленый свет также оказывает дискретное влияние на метаболизм растений, и механизмы, которые определяют это качество света, в настоящее время выясняются. Так, К. М. Folta, S. A. Maruchnich [10], проанализировав данные фотобиологических исследований за последние 50 лет, касающиеся роли зеленого света в регуляции вегетативного развития растений, фотопериодического цветения, открытия устьиц, модуляции роста стебля, экспрессии генов хлоропластов и роста растений, пришли к выводу, что регуляторные механизмы действия зеленого света на растения хорошо сочетаются с аналогичными механизмами красного и синего света.

Приведенные в работе [8] результаты показывают, что сочетание белого света с зеленым или красным стимулировало удлинение стебля у орхидеи *Cymbidium hybridum* в культуре *in vitro* на 70 и 13 % соответственно по сравнению с его удлинением при облучении белым светом в контрольной группе. Длина корней зародышей увеличивалась соответственно на 85 и 193 % относительно контроля при добавлении зеленого и красного света. Общая площадь листьев и сырая

масса проростков также увеличивались в длинноволновой области спектра, в то время как сочетание белого и синего света приводило к противоположному результату.

Учеными NASA проведен эксперимент по подбору подходящих для роста растений осветительных систем в космических аппаратах. Так, было доказано улучшение роста листового салата при его выращивании с использованием красного и синего спектров ламп LED и добавлении 24 % зеленого света (от 500 до 600 нм) при постоянной плотности фотонов (PPFD) [11]. Листья растения имели большую поверхность и большую сырую и сухую массу, чем растения, выращенные исключительно при красном или синем свете. Результаты наших исследований полностью согласуются с приведенными выше и в отношении эпифитной орхидеи *Cattleya labiata*, культивируемой в оранжерее.

Кроме того, рядом авторов [12] получены результаты, которые указывают на то, что зеленый свет высокоинтенсивных LED-ламп (PPF 200), и прежде всего в их коротковолновом диапазоне 510–530 нм, проникает в листья наиболее эффективно и увеличивает фиксацию листом CO₂ при фотосинтезе. Вместе с тем генетические и физиологические исследования показали, что некоторые реакции на зеленый свет вряд ли можно отнести к известному в настоящее время набору световых рецепторов [13]. Понимание того, что отличает морфологические и физиологические изменения, индуцируемые зеленым светом, от изменений, вызванных иными известными фотосенсорными системами, поможет разобраться в механизме воздействия зеленого света, углубить и расширить знания о том, как различные области спектра (независимо или совместно) регулируют морфогенез растений.

Заключение. Таким образом, полученные результаты подтверждают высокую чувствительность фотосинтезирующих органов орхидеи *Cattleya labiata* к качеству света в условиях оранжерейной культуры при использовании трех видов LED-ламп с различным спектральным составом излучения и потоком фотонов фотосинтеза (PPF, мкмоль/м²/с): PPG T8I Agro (37), Navigator DSP-FITO (47.5), ДДП06-3×8-004 УХЛ 4 ‘Home Farm’ (100). Степень влияния спектрального состава света на морфогенез растений *Cattleya labiata* оценивали по таким показателям, как толщина годовых листьев, процент сухого вещества и прирост его биомассы на единицу поверхности листа (мкг/см²) за период 140 дней. Показано, что спектральные характеристики LED-ламп ДДП06-3×8-004 УХЛ 4 ‘Home Farm’ с белым свечением, интенсивностью PPF 100 являются наиболее благоприятными для успешного культивирования орхидеи *Cattleya labiata* Lindl. в условиях оранжерей. Сочетание в составе ее спектра красного и зеленого спектров с соотношением красного и зеленого, равным 1,3, и соотношением красного и синего спектров, равным 3,34, наблюдается более высокий уровень накопления сухой массы на единицу поверхности листа при сохранении характерных для данного вида морфоструктурных параметров.

Список использованных источников

1. Johansson, D. R. A method to register the distribution of epiphytes on the host tree / D. R. Johansson // Am. Orch. Soc. Bull. – 1978. – Vol. 47, N 10. – P. 901–904.
2. Benzing, D. H. Vascular epiphytism: taxonomic participation and adaptive diversity / D. H. Benzing // Ann. Missouri Bot. Garden. – 1987. – Vol. 74, N 2. – P. 183–204. <https://doi.org/10.2307/2399394>
3. Zhang, W. The study of a determinate growth orchid highlights the role of new leaf production in photosynthetic light acclimation / W. Zhang, W. Huang, S.-B. Zhang // Plant Ecol. – 2017. – Vol. 218, N 6. – P. 997–1008. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0747-5>
4. Cybularz-Urban, T. Effect of light wavelength on in vitro organogenesis of a *Cattleya hybrid* / T. Cybularz-Urban, E. Hanus-Fajerska, A. Swiderski // Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica. – 2007. – Vol. 49, N 1. – P. 113–118.
5. Efficient of different spectral lights on *Oncidium* PLBs induction, proliferation, and plant regeneration / L. Mengxi [et al.] // Cell Tiss. Organ Cult. – 2011. – Vol. 106. – P. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9887-1>
6. Коломейцева, Г. Л. Крупноцветковые орхидеи в коллекции Главного ботанического сада им. Н. В. Цицина РАН (*Cattleya*, *Cymbidium*, *Dendrobium*, *Paphiopedilum*, *Phalaenopsis*) / Г. Л. Коломейцева. – М. : ГЕОС, 2014. – 296 с.
7. Черевченко, Т. М. Орхидеи в культуре / Т. М. Черевченко, Г. П. Кушнир. – Киев : Навук. думка, 1986. – 200 с.
8. The influence of light spectrum on morphogenesis of orchid germs *in vitro* / L. V. Khotskova [et al.] // IOP conference series: materials science and engineering. The VII International conference for young scientists “High Technology: Research and Applications”, 26–30 November 2018, Tomsk, Russian Federation. – S.l., 2019. – Vol. 510. – Art. 012032.
9. Klein, R. M. Effects of green light on biological systems / R. M. Klein // Rev. Cambridge Philos. Soc. – 1992. – Vol. 67, N 2. – P. 199–284. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1992.tb01019.x>

10. Folta, K. M. Green light. A signal to slow down or stop / K. M. Folta, S. A. Maruchnich // J. Exp. Botany. – 2007. – Vol. 58, N 12. – P. 3099–3111. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm130>
11. Green light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes / H. H. Kim [et al.] // HortScience. – 2004. – Vol. 39, N 7. – P. 1617–1622. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617>
12. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Latuca sativa* / M. Johkan [et al.] // Environ. Exp. Botany. – 2012. – Vol. 75. – P. 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010>
13. Wang, Y. Contribution 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>

References

1. Johansson D. R. A method to register the distribution of epiphytes on the host tree. *American Orchid Society Bulletin*, 1978, vol. 47, no. 10, pp. 901–904.
2. Benzing D. H. Vascular epiphytism: taxonomic participation and adaptive diversity. *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 1987, vol. 74, no. 2, pp. 183–204. <https://doi.org/10.2307/2399394>
3. Zhang W., Huang W., Zhang S.-B. The study of a determinate growth orchid highlights the role of new leaf production in photosynthetic light acclimation. *Plant Ecology*, 2017, vol. 218, no. 6, pp. 997–1008. <https://doi.org/10.1007/s11258-017-0747-5>
4. Cybularz-Urban T., Hanus-Fajerska E., Swiderski A. Effect of light wavelength on *in vitro* organogenesis of a *Cattleya hybrid*. *Acta Biologica Cracoviensia. Series Botanica*, 2007, vol. 49, no. 1, pp. 113–118.
5. Mengxi L., Zhigang X., Yang Y., Yijie F. Efficient of different spectral lights on *Oncidium* PLBs induction, proliferation, and plant regeneration. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 2011, vol. 106, pp. 1–10. <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9887-1>
6. Kolomeitseva G. L. Large-flowered orchids in the collection of the Main Botanical Garden. N. V. Tsitsina RAS (*Cattleya, Cymbidium, Dendrobium, Paphiopedilum, Phalaenopsis*). Moscow, GEOS Publ., 2014. 296 p. (in Russian).
7. Cherevchenko T. M., Kushnir G. P. *Orchids in culture*. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1986. 200 p. (in Russian).
8. Khotskova L. V., Stepanyuk G. Ya., Yamburov M. S., Astafurova T. P., Turanov S. B. The influence of light spectrum on morphogenesis of orchid germs *in vitro*. *IOP conference series: materials science and engineering. The VII International conference for young scientists "High Technology: Research and Applications", November 26–30, 2018, Tomsk, Russian Federation. Vol. 510*. IOP Publishing Ltd, 2019, art. 012032.
9. Klein R. M. Effects of green light on biological systems. *Reviews of Cambridge Philosophical Society*, 1992, vol. 67, no. 2, pp. 199–284. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185x.1992.tb01019.x>
10. Folta K. M., Maruchnich S. A. Green light. A signal to slow down or stop. *Journal of Experimental Botany*, 2007, vol. 58, no. 12, pp. 3099–3111. <https://doi.org/10.1093/jxb/erm130>
11. Kim H. H., Gons C. D., Wheeler R. M., Sager J. S. Green light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes. *HortScience*, 2004, vol. 39, no. 7, pp. 1617–1622. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.7.1617>
12. Johkan M., Shoji K., Goto F., Hahida S., Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Latuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany*, 2012, vol. 75, pp. 128–133. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.08.010>
13. Wang Y., Folta K. M. Contribution 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>

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

Бурчик Наталья Анатольевна – соискатель. Центральный ботанический сад НАН Беларуси (ул. Сурганова, 2в, 220012, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: green-ice@tut.by

Баркун Михаил Иосифович – вед. специалист. Центр светодиодных и оптоволоконных технологий НАН Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: m.barkun@ledcenter.by

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

Information about the authors

Nelly V. Hetka – 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

Natalia A. Burchik – Applicant. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (Surganov Str., 2v, 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: green-ice@tut.by

Mikhail I. Barkun – Leading specialist. Center for LED and fiber-optic technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoiskii tract, 220090, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: m.barkun@ledcenter.by

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