



Научная статья/Research Article

УДК 635.4

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-3-10

Вера Валентиновна Кондратьева¹, Татьяна Владимировна Воронкова²,
Мария Владимировна Семенова³, Людмила Сергеевна Олехнович⁴,
Людмила Николаевна Коновалова⁵, Ольга Владимировна Шелепова⁶✉

^{1,2,3,4,5,6}Главный ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН, Москва, Россия

^{1,2,3,4}lab-physiol@mail.ru

⁵konovalova-lu@yandex.ru

⁶shov_gbsad@mail.ru

ПРОДУКТИВНОСТЬ БАЗИЛИКА СЛАДКОГО (*OSIMUM BASILICUM* L.) ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ В ОРАНЖЕРЕЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель исследования – изучение действия освещения только светодиодными панелями с различным спектральным составом света на рост и развитие зеленолистового и краснелистового сортов базилика при выращивании в зимне-весенний период (февраль-апрель). В исследовании использовались два сорта с контрастными по окраске листьями базилика, зеленый базилик Анисовый аромат и красный базилик Опал. Растения выращивали в условиях 16/8-часового света/темноты в двух режимах: контроль – освещение только белыми светодиодами; вариант 1 – одновременное освещение белым светодиодным светом и светодиодными лампами со спектрами излучения в двух максимумах (синяя область спектра (450 нм) : красная область спектра (660 нм) = 30 : 70 %). Лампы были размещены на высоте 85 см от верхнего края кассеты, плотность потока фотонов 180 мкмоль/м²с. У контрольных и опытных растений после 30 и 60 дней подсветки измеряли физиологические и фотосинтетические параметры. Определяли высоту побега, массу листьев, площадь листа, содержание хлорофилла, каротиноидов, сумму флавоноидов, фенолкарбоновых кислот (хлорогеновой и кофейной). Досветка красно-синим светом в сочетании с белым светодиодным светом имела явное преимущество практически по всем параметрам роста и развития, измеренным для обоих сортов базилика. Растения на обеих стадиях учета урожая были выше, имели большую массу и более крупные листья. Досветка красно-синим светом совместно с белым светом позволила краснелистовым растениям базилика преодолеть контрольные растения примерно в полтора раза по урожайности, антиоксидантным свойствам и адаптационному потенциалу. При длительном выращивании базилика белые светодиоды инициировали более эффективный фотозащитный механизм, особенно у зеленолистных растений базилика.

Ключевые слова: базилик сладкий, синий и красный свет, продуктивность, светодиодные лампы

Для цитирования: Продуктивность базилика сладкого (*Ocimum basilicum* L.) при выращивании в оранжереях с использованием светодиодного освещения / В.В. Кондратьева [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2022. № 9. С. 3–10. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-3-10.

Благодарности: работа выполнена в рамках Госзадания ГBS РАН № 122011400178-7.

Vera Valentinovna Kondratieva¹, Tatyana Vladimirovna Voronkova²,
Maria Vladimirovna Semenova³, Lyudmila Sergeevna Olekhovich⁴,
Lyudmila Nikolaevna Konovalova⁵, Olga Vladimirovna Shelepova⁶✉

^{1,2,3,4,5,6}N.V. Tsitsin Main Botanical Garden RAS, Moscow, Russia

^{1,2,3,4}lab-physiol@mail.ru

⁵konovalova-lu@yandex.ru

⁶shov_gbsad@mail.ru

SWEET BASIL (*OCIMUM BASILICUM* L.) PRODUCTIVITY WHEN GROWING IN GREENHOUSES USING LED LIGHTING

The purpose of research is to study the effect of lighting only with LED panels with different spectral composition of light on the growth and development of green-leaf and red-leaf varieties of basil when grown in the winter-spring period (February-April). The study used two varieties of contrasting basil leaves, Green Basil Anise Flavor and Red Basil Opal. Plants were grown under 16/8-hour light/dark conditions in two modes: control - illumination only with white LEDs; option 1 – simultaneous illumination with white LED light and LED lamps with emission spectra in two maxima (blue spectral region (450 nm): red spectral region (660 nm) = 30 : 70 %). The lamps were placed at a height of 85 cm from the top edge of the cassette, the photon flux density was 180 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. In control and experimental plants, physiological and photosynthetic parameters were measured after 30 and 60 days of illumination. The shoot height, leaf weight, leaf area, chlorophyll content, carotenoids, the amount of flavonoids, phenolcarboxylic acids (chlorogenic and coffee acids) were determined. Illumination with red-blue light in combination with white LED light had a clear advantage in almost all growth and development parameters measured for both varieties of basil. Plants at both stages of accounting for the yield were taller, had a larger mass and larger leaves. Illumination with red-blue light together with white light allowed red-leaved basil plants to outperform control plants by about one and a half times in terms of yield, antioxidant properties and adaptive potential. In long-term basil cultivation, white LEDs initiated a more efficient photoprotective mechanism, especially in green leaf basil plants.

Keywords: sweet basil, blue and red light, productivity, LED lamps

For citation: Sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) productivity when growing in greenhouses using led lighting / V.V. Kondrat'eva [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2022;(9): 3–10. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-9-3-10.

Acknowledgments: the work has been carried out within the framework of the State Assignment of the GBS RAS No. 122011400178-7.

Введение. Круглогодичное выращивание пряно-ароматичных культур широко практикуется уже длительное время. В средних умеренных широтах в зимний период естественный световой день длится 7–8 ч, что явно недостаточно для нормального роста и развития большинства растений, а за полярным кругом в это время естественное освещение. Для получения качественной зеленой массы нужна досветка 40–60 Вт на 1 м² и продолжительность светового периода не менее 12 ч. В качестве источника освещения в последнее время широко применяют светодиод-

ные лампы. Наряду с экономическими преимуществами (энергосбережение, длительный срок использования, быстрая окупаемость) в светодиодных панелях и лампах можно изменять качественный состав света. Различные сочетания узкоспектрального света дают возможность изменить направленность и интенсивность метаболических процессов в клетках растений. Это способствует активации адаптационного потенциала растений, формирования протекторных реакций, что в конечном итоге приводит к оптимизации продукционного процесса [1, 2]. Домини-

нирование в спектре красного света стимулирует синтез хлорофилла и каротиноидов, влияет на активирование ферментов углеводного метаболизма, синтез вторичных метаболитов. Синий свет ингибирует растяжение клеток, снижает количество устьиц, то есть меняется габитус растений [3]. Эти изменения, безусловно, важны при выращивании зеленых и пряно-ароматических культур для увеличения количества качественной зеленой массы.

Кроме того, длинноволновое излучение (красный свет) способствует подавлению патогенов [4]. Таким образом, светодиодные панели не только позволяют продлить световой период, улучшить качество овощной продукции, но и способствуют экологически чистой борьбе с инфекцией.

Использование монохромного света может негативно сказаться на росте и развитии растений, а, следовательно, и на получении хороших урожаев зеленой массы [5]. В наших предыдущих работах мы использовали светодиодные панели в качестве досветки к естественному освещению [6].

Цель исследования – изучение действия освещения только светодными панелями с различным спектральным составом света на рост и развитие зеленолиственного и краснелиственного сортов базилика при выращивании в зимне-весенний период (февраль – апрель).

Объекты и методы. В исследовании использовали два сорта с контрастными по окраске листьями базилика сладкого: зеленый базилик Анисовый аромат и красный базилик Опал. Семена базилика высевали в универсальный почвогрунт и на стадии второй пары настоящих листьев сеянцы переносили в камеру фитотрона при температуре 22 ± 3 °C и относительной влажности воздуха 65 ± 5 %, растения выращивали в условиях 16/8-часового света/темноты в двух режимах: контроль – освещение только белыми светодиодами (50 W, EPISTAR, Тайвань); вариант 1 – одновременное освещение белым светодиодным светом и светодиодными лампами (50 W, E24 Sind 57-30, Китай) со спектрами излучения в двух максимумах (синяя область спектра (450 нм) : красная область спектра (660 нм) = 30 : 70 %). Лампы были размещены на высоте 85 см от верхнего края кассеты, плотность потока фотонов – 180 мкмоль/м²с.

У контрольных и опытных растений после 30 и 60 дней подсветки измеряли физиологические

и фотосинтетические параметры. Определяли высоту побега, массу листьев, площадь листа, содержание хлорофилла, каротиноидов, сумму флавоноидов, фенолкарбоновых кислот (хлорогеновой и кофейной) [7–9]. При статистической обработке результатов опыта использовали программы Excel 2010 и Past V 3.0. Определяли среднее значение показателей (M) 40 растений в выборке, стандартные ошибки средней (\pm SEM) и доверительный интервал при 95 % доверительного уровня. Различия между вариантами были достоверны при $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Отмечено, что как у зеленого сорта Анисовый аромат, так и у красного сорта Опал досветка красно-синим светом в сочетании с белым светом не оказали существенного влияния на высоту растений. В то же время стадия учета урожая растений оказывает значительное влияние на высоту растений ($p \leq 0,05$), при этом более высокие растения наблюдались в конце опыта. Так, высота растений зеленого базилика варианта сочетания белого и красно-синего света была в 1,1 раза выше, чем у растений контрольного варианта как в середине опыта (на 30-й день), так и в конце опыта. При этом высота растений за время опыта на контроле и варианте 1 увеличилась в 2,7 раза (табл. 1). Высота растений красного базилика варианта опыта была больше в 1,3 и 1,2 раза по сравнению с контролем в середине и в конце опыта соответственно. При этом скорость роста красного базилика была выше – за время опыта высота растений возросла в 2,85 раза как на контроле, так и в варианте сочетания белого и красно-синего света. Ускоренный рост базилика при использовании светодиодного освещения отмечался в ранее опубликованных работах как для базилика сладкого (*Ocimum basilicum* L.), так и для базилика кустового (*Ocimum minimum* L.) [1, 10–12].

У обоих сортов базилика сладкого наблюдалось значительное влияние досветки красно-синим светом в сочетании с белым светом и фазы развития растений на площадь листа ($p \leq 0,001$). Оптимальная площадь листа наблюдалась у растений как сорта Анисовый аромат, так и сорта Опал, выращенных под красно-синими светодиодами, в конце опыта площадь листа растений варианта опыта возросла в 2,1 и 1,6 раза и превышала контрольные растения в 1,7 и 1,3 раза у зеленого базилика сорта Анисовый аромат и красного базилика сорта Опал соответственно (табл.).

Влияние разных источников света и фазы развития растений двух сортов базилика сладкого (*Ocimum basilicum* L.) на морфологические и физиологические параметры растений

Показатель	Зеленый базилик сорта Анисовый аромат				Красный базилик сорта Опал			
	Контроль		Вариант опыта		Контроль		Вариант опыта	
	30 дней	60 дней	30 дней	60 дней	30 дней	60 дней	30 дней	60 дней
Высота растения, см	5,6±0,5	16,2±0,2	6,3±0,7	17,7±0,7	11,4±1,8	32,1±0,6	13,5±2,6	35,6±1,1
Площадь листа, см ²	10,0±0,8	12,6±0,7	10,3±0,6	21,2±1,1	7,7±0,4	12,3±0,4	10,1±0,5	16,5±0,8
Масса одного растения, г	1,25±0,11	1,27±0,09	1,30±0,10	1,43±0,11	1,18±0,10	1,22±0,07	1,23±0,07	1,30±0,09
Содержание хлорофилла a + b, мг/г	1,77±0,08	1,73±0,06	1,82±0,08	1,86±0,07	2,23±0,10	2,10±0,09	1,94±0,11	2,29±0,10
Содержание каротиноидов, мг/г	0,22±0,04	0,25±0,03	0,12±0,02	0,23±0,03	0,30±0,04	0,31±0,04	0,25±0,03	0,31±0,03
Содержание суммы флавоноидов, мг/г	4,5±0,2	1,6±0,1	2,6±0,1	1,1±0,2	4,9±0,2	1,3±0,2	4,9±0,1	1,7±0,1
Содержание хлорогеновой кислоты, мкг/г	3,94±0,25	1,82±0,55	2,38±0,05	1,79±0,13	0,88±0,07	2,42±0,1	1,17±0,07	2,53±0,13
Содержание кофейной кислоты, мкг/г	≤ 0,1	≤ 0,1	≤ 0,1	7,86±0,37	≤ 0,1	5,07±0,36	≤ 0,1	3,43±0,25

Досветка красно-синим светом в сочетании с белым светом оказала незначительное влияние на сырую массу растений обоих сортов базилика сладкого. Максимальная масса наблюдалась у растений зеленого базилика сорта Анисовый аромат на обеих стадиях учета урожая растений, она была в 1,1 раза выше при досветке по сравнению с контролем. Тогда как масса растений красного базилика сорта Опал в варианте опыта с досветкой превышала контрольные растения только в 1,05 раза как в середине, так и в конце опыта.

Сравнение динамики накопления хлорофилла *a* и *b* при досветке красно-синим светом в сочетании с белым светом выявило сортовые различия (см. табл.). У растений зеленого базилика сорта Анисовый аромат в варианте опыта содержание хлорофилла *a* и *b* на обеих стадиях учета урожая растений было выше, чем у растений контроля. При этом ко второй фазе учета урожая растений на контроле зафиксировано снижение содержания хлорофилла *a* и *b* – в 1,06 раза. У растений красного базилика сорта Опал содержание хлорофилла *a* и *b* было выше у контрольных растений в 1,15 раза по сравнению с вариантом досветки красно-синим светом

в сочетании с белым светом на 30-й день опыта. Однако к концу опыта содержание хлорофилла *a* и *b* в растениях красного базилика снизилось на контроле в 1,06 раза. А при досветке красно-синим светом в сочетании с белым светом зафиксировано увеличение содержания хлорофилла *a* и *b* в 1,18 раза (см. табл.).

Содержание каротиноидов в листьях контрольных растений обоих сортов базилика достоверно отличалось, оно было выше у растений красного базилика сорта Опал на обеих стадиях учета урожая растений (см. табл.). Досветка красно-синим светом в сочетании с белым светом также выявила сортовые различия в динамике изменения содержания каротиноидов, но при этом у обоих сортов происходило угнетение синтеза каротиноидов по сравнению с исходным контролем. У растений зеленого базилика к середине опыта содержание каротиноидов снизилось в 1,8 раза по сравнению с контролем, а у растений красного базилика – только в 1,2 раза. С увеличением продолжительности светового воздействия (к концу опыта) содержание каротиноидов возросло и наблюдалось у обоих сортов практически на уровне контроля.

Увеличение содержания каротиноидов в ответ на воздействие красно-синего света является важным адаптивным механизмом, присутствующим у растений базилика, так как каротиноиды являются эффективным защитным механизмом [13].

Что касается общего содержания суммы флавоноидов в листьях контрольных растений, сортовых различий не зафиксировано. У обоих сортов базилика содержание суммы флавоноидов находилось в диапазоне 4,5–4,9 мг/г (на 30-й день опыта), к концу опыта оно существенно снизилось в 2,8 (зеленый базилик) и 3,3 раза (красный базилик) и составило 1,6–1,5 мг/г (см. табл.). Досветка красно-синим светом в сочетании с белым светом растений зеленого базилика сорта Анисовый аромат к середине опыта в 1,8 раза снизила содержание флавоноидов по сравнению с контролем, у растений красного базилика сорта Опал такого снижения не зафиксировано – содержание суммы флавоноидов было на уровне контрольных растений. К концу опыта у опытных растений обоих сортов наблюдалось снижение содержания данного показателя, и оно было практически на уровне контрольных растений. Известно, что содержание флавоноидов положительно коррелирует с антиоксидантной активностью в растениях *O. basilicum* [14]. Снижение содержания флавоноидов у обоих сортов к концу опыта может свидетельствовать, что растения базилика защищены от воздействия света другими антиоксидантами, возможно, фенолкарбоновыми кислотами, которые тесно связаны с формированием адаптационных и протекторных реакций к условиям внешней среды [15].

Очевидно, что фенолкарбоновые, в частности хлорогеновая и кофейная, кислоты играют более важную роль у растений красного базилика сорта Опал – на обеих стадиях учета урожая растений при досветке красно-синим светом в сочетании с белым светом содержание хлорогеновой и особенно кофейной кислот выше, чем в контрольных растениях. У растений зеленого базилика фенолкарбоновые кислоты лишь частично участвуют в инициации протекторных механизмов.

Заключение. Таким образом, качество света оказало влияние на ростовые и физиологические характеристики двух сортов базилика сладкого. Использование для досветки красно-синего света в сочетании с белым светодиод-

ным светом показало очевидное преимущество по сравнению с использованием только белого светодиодного света. Растения зеленого базилика сорта Анисовый аромат и красного базилика сорта Опал на обеих стадиях учета урожая были выше, имели большую массу и более крупные листья при использовании для досветки красно-синего света в сочетании с белым светом. Наши результаты согласуются с концепцией о важной роли каротиноидов, флавоноидов и фенолкарбоновых кислот в адаптации растений базилика к высокоинтенсивному свету. Высокое содержание каротиноидов, флавоноидов и хлорогеновой кислоты служит в качестве более эффективного фотозащитного механизма при длительном выращивании светолюбивых растений зеленого базилика с помощью только белых светодиодов. Напротив, эти же соединения обеспечивают высокий адаптационный потенциал растениям красного базилика сорта Опал при досветке красно-синим светом в сочетании с белым светом и особенно при длительном использовании узкополосного света.

Данное исследование имеет большое практическое применение для коммерческого производства базилика сладкого в районах, где естественного освещения недостаточно для оптимального роста и продуктивности светолюбивых растений.

Список источников

1. The Growth and Development of Sweet Basil (*Ocimum basilicum*) and Bush Basil (*Ocimum minimum*) Grown under Three Light Regimes in a Controlled Environment / M. Aldarkazali [et al.] // *Agronomy*. 2019. Vol. 9(11). Art. 743. DOI: 10.3390/agronomy9110743.
2. Comparison and perspective of conventional and LED lighting for photobiology and industry applications / Bo-S. Wu [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. 2020. Vol. 171. Art. 103953. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103953.
3. Red Light-Induced Systemic Resistance Against Root-Knot Nematode Is Mediated by a Coordinated Regulation of Salicylic Acid, Jasmonic Acid and Redox Signaling in Watermelon / Y. You-xin [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Art. 899. DOI: 10.3389/fpls.2018.00899.

4. Blue Light added with Red LEDs Enhance Growth Characteristics, Pigments Content, and Antioxidant Capacity in Lettuce, Spinach, Kale, Basil, and Sweet Pepper in a Controlled Environment / *M.T. Naznin* [et al.] // *Plants*. 2019. Vol. 8(4). Art. 93. DOI: 10.3390/plants8040093.
5. Физиолого-биохимические аспекты длительного воздействия на растения мяты света неизменного спектрального состава / *О.В. Шелепова* [и др.] // Бюллетень Гл. бот. сада. РАН. 2012. № 2. С. 68–73.
6. Влияние узкоспектрального света в сочетании с предпосадочной обработкой луковиц тюльпана «Фитоспорином» на качество при зимне-весенней выгонке тюльпанов / *В.В. Кондратьева* [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 8. С. 74–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-74-79.
7. Устойчивость рассады декоративных растений к кратковременному холодовому стрессу при воздействии узкоспектрального света / *В.В. Кондратьева* [и др.] // Сельскохозяйственная биология. 2019. Т. 54, № 1. С. 121–129. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.121rus.
8. *Lichtenthaler H.K.* Chlorophylls and carotenoids: pigment of photosynthetic biomembranes // *Method. Enzymol.* 1987. Vol. 148. P. 350–382.
9. Phenolic content and antioxidant activity of *Echinocystis lobata* (Mich.) Torr. et Gray (*Cucurbitaceae*) / *Yu. Vinogradova* [et al.] // *Slovak Journal of Food Sciences*. 2021. Vol. 15. P. 784–791. DOI: 10.5219/1579.
10. Blue and red LED illumination improves growth and ioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens / *A. Lobiuc* [et al.] // *Molecules*. 2017. Vol. 22. Art. 2111. DOI: 10.3390/molecules22122111.
11. *Rahman M.M., Vasiliev M., Alameh K.* LED Illumination Spectrum Manipulation for Increasing the Yield of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). // *Plants*. 2021. Vol. 10 (2). Art. 344. DOI: 10.3390/plants10020344.
12. *Solbach J.A., Fricke A., Stützel H.* Seasonal Efficiency of Supplemental LED Lighting on Growth and Photomorphogenesis of Sweet Basil. // *Frontiers in Plant Science*. 2021. Vol. 12. Art. 609975. DOI: 10.3389/fpls.2021.609975.
13. Role of anthocyanin and carotenoids in the adaptation of the photosynthetic apparatus of purple- and green-leaved cultivars of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to high-intensity light / *L.A. Stetsenko* [et al.] // *Photosynthetica*. 2020. Vol. 58(4). P. 890–901. DOI: 10.32615/ps.2020.048.
14. *Nazir M., Ullah M.A., Younas M.* Light-mediated biosynthesis of phenylpropanoid metabolites and antioxidant potential in callus cultures of purple basil (*Ocimum basilicum* L. var *purpurascens*) // *Plant Cell Tiss. Org.* 2020. Vol. 142. P. 107–120. DOI: 10.1007/s11240-020-01844-z.
15. Suzuki Enhanced accumulation of caffeic acid, rosmarinic acid and luteolin-glucoside in red perilla cultivated under red diode laser and blue LED illumination followed by UV-A irradiation / *M. Iwai* [et al.] // *J. Funct. Foods*. 2010. Vol. 2. P. 66–70.

References

1. The Growth and Development of Sweet Basil (*Ocimum basilicum*) and Bush Basil (*Ocimum minimum*) Grown under Three Light Regimes in a Controlled Environment / *M. Aldarkazali* [et al.] // *Agronomy*. 2019. Vol. 9(11). Art. 743. DOI: 10.3390/agronomy9110743.
2. Comparison and perspective of conventional and LED lighting for photobiology and industry applications / *Bo-S. Wu* [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. 2020. Vol. 171. Art. 103953. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2019.103953.
3. Red Light-Induced Systemic Resistance Against Root-Knot Nematode Is Mediated by a Coordinated Regulation of Salicylic Acid, Jasmonic Acid and Redox Signaling in Watermelon / *Y. You-xin* [et al.] // *Frontiers in Plant Science*. 2018. Vol. 9. Art. 899. DOI: 10.3389/fpls.2018.00899.
4. Blue Light added with Red LEDs Enhance Growth Characteristics, Pigments Content, and Antioxidant Capacity in Lettuce, Spinach, Kale, Basil, and Sweet Pepper in a Controlled Environment / *M.T. Naznin* [et al.] // *Plants*.

2019. Vol. 8(4). Art. 93. DOI: 10.3390/plants 8040093.
5. Fiziologo-biohimicheskie aspekty dlitel'nogo vozdeystviya na rasteniya myaty sveta neizmennogo spektral'nogo sostava / O.V. Shelepova [i dr.] // Byulleten' Gl. bot. sada. RAN. 2012. № 2. S. 68–73.
 6. Vliyanie uzkospektral'nogo sveta v sochetanii s predposadochnoj obrabotkoj lukovic tyul'pana «Fitosporinom» na kachestvo pri zimnevesennej vygonke tyul'panov / V.V. Kondrat'eva [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 8. S. 74–79. DOI: 10.36718/1819-4036-2021-8-74-79.
 7. Ustojchivost' rassady dekorativnyh rastenij k kratkovremennomu holodovomu stressu pri vozdeystvii uzkospektral'nogo sveta / V.V. Kondrat'eva [i dr.] // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2019. T. 54, № 1. S. 121–129. DOI: 10.15389/agrobiology.2019.1.121rus.
 8. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigment of photosynthetic biomembranes // Method. Enzymol. 1987. Vol. 148. P. 350–382.
 9. Phenolic content and antioxidant activity of *Echinocystis lobata* (Mich.) Torr. et Gray (*Cucurbitaceae*) / Yu. Vinogradova [et al.] // Slovak Journal of Food Sciences. 2021. Vol. 15. P. 784–791. DOI: 10.5219/1579.
 10. Blue and red LED illumination improves growth and ioactive compounds contents in acyanic and cyanic *Ocimum basilicum* L. microgreens / A. Lobiuc [et al.] // Molecules. 2017. Vol. 22. Art. 2111. DOI: 10.3390/molecules22122111.
 11. Rahman M.M., Vasiliev M., Alameh K. LED Illumination Spectrum Manipulation for Increasing the Yield of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). // Plants. 2021. Vol. 10 (2). Art. 344. DOI: 10.3390/plants10020344.
 12. Solbach J.A., Fricke A., Stützel H. Seasonal Efficiency of Supplemental LED Lighting on Growth and Photomorphogenesis of Sweet Basil. // Frontiers in Plant Science. 2021. Vol. 12. Art. 609975. DOI: 10.3389/fpls.2021.609975.
 13. Role of anthocyanin and carotenoids in the adaptation of the photosynthetic apparatus of purple- and green-leaved cultivars of sweet basil (*Ocimum basilicum*) to high-intensity light / L.A. Stetsenko [et al.] // Photosynthetica. 2020. Vol. 58(4). P. 890-901. DOI: 10.32615/ps.2020.048.
 14. Nazir M., Ullah M.A., Younas M. Light-mediated biosynthesis of phenylpropanoid metabolites and antioxidant potential in callus cultures of purple basil (*Ocimum basilicum* L. var purpurascens) // Plant Cell Tiss. Org. 2020. Vol. 142. P. 107-120. DOI: 10.1007/s11240-020-01844-z.
 15. Suzuki Enhanced accumulation of caffeic acid, rosmarinic acid and luteolin-glucoside in red perilla cultivated under red diode laser and blue LED illumination followed by UV-A irradiation / M. Iwai [et al.] // J. Funct. Foods. 2010. Vol. 2. P. 66–70.

Статья принята к публикации 11.05.2022 / The article accepted for publication 11.05.2022.

Информация об авторах:

Вера Валентиновна Кондратьева¹, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета растений, кандидат биологических наук

Татьяна Владимировна Воронкова², старший научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета растений, кандидат биологических наук

Мария Владимировна Семенова³, научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета растений, кандидат биологических наук

Людмила Сергеевна Олехнович⁴, младший научный сотрудник лаборатория физиологии и иммунитета растений

Людмила Николаевна Коновалова⁵, научный сотрудник лаборатории защиты растений

Ольга Владимировна Шелепова⁶, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и иммунитета растений, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Vera Valentinovna Kondratieva¹, Senior Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Immunity, Candidate of Biological Sciences

Tatyana Vladimirovna Voronkova², Senior Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Immunity, Candidate of Biological Sciences

Maria Vladimirovna Semenova³, Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Immunity, Candidate of Biological Sciences

Lyudmila Sergeevna Olekhnovich⁴, Junior Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Immunity

Lyudmila Nikolaevna Konovalova⁵, Researcher, Plant Protection Laboratory

Olga Vladimirovna Shelepova⁶, Leading Researcher, Laboratory of Plant Physiology and Immunity, Candidate of Biological Sciences

