

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-72-75>
УДК 581.144.043:573.6:635.742

Хлебникова Д.А.,
Лобова А.А.,
Аладина О.Н.,
Чередниченко М.Ю.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» 127550, Россия, Москва, ул. Тимирязевская, 49
E-mail: michael.tsch@gmail.com

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Хлебникова Д.А., Лобова А.А., Аладина О.Н., Чередниченко М.Ю. Влияние спектрального состава света на рост растений чабера садового (*Satureja hortensis* L.) в культуре *in vitro*. Овощи России. 2019;(6):72-75.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-72-75>

Поступила в редакцию: 09.07.2019

Принята к печати: 28.10.2019

Опубликована: 25.11.2019

Daria A. Khlebnikova,
Anna A. Lobova,
Olga N. Aladina,
Mikhail Yu. Cherednichenko

Russian State Agrarian University – Moscow
Timiryazev Agricultural Academy
49, Timiryazevskaya Str., Moscow, Russia, 127550
E-mail: michael.tsch@gmail.com

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Khlebnikova D.A., Lobova A.A., Aladina O.N., Cherednichenko M.Yu. The impact of light spectral composition on the *in vitro* growth of summer savory (*Satureja hortensis* L.) plants. *Vegetable crops of Russia*. 2019;(6):72-75. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-6-72-75>

Received: 09.07.2019

Accepted for publication: 28.10.2019

Accepted: 25.11.2019

Влияние спектрального состава света на рост растений чабера садового (*Satureja hortensis* L.) в культуре *in vitro*



РЕЗЮМЕ

Актуальность. Чабер садовый (*Satureja hortensis* L.) – однолетнее травянистое растение, эфирное масло и экстракты которого находят применение в медицине, парфюмерии и пищевой промышленности.

Материал и методика. В статье представлены результаты изучения влияния соотношения синего (СС) и красного (КС) света в общем спектре светодиодных ламп на морфометрические показатели растений чабера садового сортов Гном и Перечный аромат в условиях *in vitro*. Для введения в культуру *in vitro* семена стерилизовали 5% раствором NaCl 10 минут, помещали в чашки Петри с питательной средой Мурасиге и Скуга (МС). Асептические проростки в возрасте 4-5 дней пересаживали в пробирки и переносили на стеллажи со светодиодными лампами (на 28 суток): (1) с 1-х по 14-е сутки 100% КС, с 15-х по 28-е сутки 60% КС, 40% СС; (2) 90% КС, 10% СС; (3) 60% КС и 40% СС; (4) 32% КС и 68% СС. Общая интенсивность освещения составляла во всех вариантах 175 мкмоль/м²с.

Результаты. Было установлено, что изменение соотношения КС:СС в общем спектре влияет на морфометрические показатели растений чабера садового в культуре *in vitro*. При культивировании под 100% КС формируются высокие растения с длинными междоузлиями и мелкими листьями, сокращение доли КС до 60...32% приводит к получению более низкорослых растений с крупными листьями. Результаты могут быть использованы при разработке технологии клонального микроразмножения ценных селекционных форм, а также при создании исходного материала для селекции методами культуры *in vitro*.

Ключевые слова: *Satureja hortensis*, культура *in vitro*, спектральный состав света, морфометрические показатели.

The impact of light spectral composition on the *in vitro* growth of summer savory (*Satureja hortensis* L.) plants

ABSTRACT

Relevance. Summer savory (*Satureja hortensis* L.) is an annual herbaceous plant whose essential oil and extracts are used in medicine, perfumery and the food industry.

Methods. The article presents the results of studying the effect of the ratio of blue (BL) and red light (RL) in the total spectrum of LED lamps on the morphometric parameters of plants of summer savory varieties Gnom and Perechny aromat *in vitro*. For *in vitro* culture, seeds were sterilized with 5% NaCl solution for 10 minutes, placed in Petri dishes with Murashige and Skoog culture medium (MS). Aseptic seedlings at the age of 4-5 days were transplanted into tubes and transferred to racks with LED lamps (for 28 days): (1) from 1st day to 14th day 100% RL, from the 15th to the 28th day 60% RL, 40% BL; (2) 90% RL, 10% BL; (3) 60% RL and 40% BL; (4) 32% RL and 68% BL. The total illumination intensity in all variants was 175 μmol/m²s.

Results. It was found that a change in the RL:BL ratio in the total spectrum affects the morphometric parameters of the savory plants in an *in vitro* culture. When cultivated under 100% RL, tall plants with long internodes and small leaves are formed, a reduction in the share of RL to 60...32% results in more short-growing plants with large leaves. The results of this work can be used to develop the technology of clonal micropropagation of valuable breeding forms, as well as to create source material for breeding by *in vitro* culture methods.

Keywords: *Satureja hortensis*, *in vitro* culture, light spectral composition, morphometric parameters.

Введение

Чабер садовый (*Satureja hortensis* L.) – травянистое эфиромасличное растение из семейства Яснотковые (*Lamiaceae* Mart.). В диком виде произрастает в странах Ближнего Востока и Средиземноморья. Культивируется как пряно-ароматическая культура в Европе и Азии. В надземных частях накапливается 0,5-4,5% эфирного масла, основными компонентами которого являются монотерпеноиды пара-ментанового ряда – тимол, карвакрол, п-цимен, γ -терпинен [1, 2]. Экстракты и высушенное сырье из надземных частей растения содержат также флавоноиды и розмариновую кислоту. Вторичные метаболиты, синтезируемые растением, обуславливают биологическую активность экстрактов и эфирного масла – антимикробную, антиоксидантную, спазмолитическую, гипогликемическую, антиноцицептивную и др. – и объясняют традиционно широкое применение растения в народной медицине стран Ближнего Востока [2, 3]. В последние годы возрос интерес к изучению состава и биологической активности чабера садового – с 2008 по 2018 годы опубликована 161 работа в базе Scopus по ключевым словам «*Satureja hortensis* effect» [4].

Активные компоненты из фитосырья могут быть получены с помощью традиционных методов – сбора растений в местах их естественного произрастания либо плантационного выращивания – или с помощью методов биотехнологии (культура клеток и тканей в условиях *in vitro*). Данная технология предполагает подбор условий культивирования для интактных растений, его тканей или органов [5]. Одним из факторов, оказывающих значительное влияние на процессы жизнедеятельности растения, является интенсивность и спектральный состав света. Из всего спектра солнечной радиации для жизни растений особенно важна фотосинтетически активная радиация (380...710 нм) и физиологически активная радиация (300...800 нм) [6]. В свою очередь, лучи красной и сине-фиолетовой частей спектра играют особенно большую роль – соответствуют максимумам поглощения хлорофиллов, при-

нимают непосредственное участие в фотосинтезе и основном метаболизме [7, 8]. Волны синей части спектра (390...500 нм) регулируют в организме растений широкий спектр фотоморфологических реакций – циркадные ритмы, фототропизм, фотоморфогенез, прорастание семян, раскрытие устьиц, работу фотосинтетического аппарата и др. благодаря наличию у растений трех классов фоторецепторов (криптохромов, фототропинов и белков семейства ZEITLUPE) [9, 10]. Синие и фиолетовые лучи стимулируют деление клеток, но тормозят их растяжение, что приводит к формированию более компактных растений [10, 11]. По данным Протасовой Н.Н. с соавт., при культивировании под синим светом в растениях накапливается большее количество ингибиторов роста (абсцизовой кислоты и оксикоричных кислот), что приводит к формированию укороченных стеблей и более толстых листьев по сравнению с растениями, выращенными под красным светом [12]. Фитохромы – рецепторы лучей красного и дальнего красного света [13]. С их помощью под воздействием лучей красной доли спектра в растениях запускаются такие реакции, как растяжение клеток, прорастание семян, репродуктивное развитие, реакция «избегание тени» [10, 14]. Избыток лучей красной части спектра задерживает образование генеративных органов [6].

Целью нашего исследования было изучение влияния спектрального состава света на морфологические показатели растений *Satureja hortensis* L. в культуре *in vitro*.

Материалы и методы

Объектом исследования служили асептические растения двух сортов чабера садового Гном («Биотехника») и Перечный аромат («СеДеК»), полученные нами ранее в биотехнологической лаборатории кафедры генетики, биотехнологии, селекции и семеноводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Для введения в культуру *in vitro* семена стерилизовали в 5%-ном растворе гипохлорита натрия (NaOCl) в течение 10

Таблица. Морфометрические показатели асептических растений *S. hortensis* при культивировании при разных режимах спектрального состава света ($\alpha = 0,05$)
Table. Morphometric indicators of *S. hortensis* aseptic plants during cultivation under different modes of the light spectral composition ($\alpha = 0,05$)

Режим Mode	Высота растений, мм Plant height, mm	Количество настоящих листьев, шт. Number of true leaves, pc.	Количество узлов, шт. Number of nodes, pc.
сорт Гном cv. Gnom			
1	93,9 ± 9,9	5,8 ± 0,7	2,6 ± 0,4
2	71,4 ± 9,5	10,4 ± 1,6	4,5 ± 0,7
3	49,2 ± 8,5	11,3 ± 0,7	3,5 ± 1,0
4	56,2 ± 8,7	11,0 ± 1,1	4,6 ± 0,6
контроль	67,7 ± 8,1	6,1 ± 1,0	3,4 ± 0,7
сорт Перечный аромат cv. Perechniy aromat			
1	111,3 ± 7,7	6,7 ± 0,8	2,3 ± 0,7
2	76,8 ± 16,6	9,3 ± 1,3	3,8 ± 0,6
3	44,6 ± 10,7	10,0 ± 1,2	4,2 ± 0,7
4	60,0 ± 5,7	9,5 ± 3,4	3,3 ± 0,9
контроль	60,4 ± 9,1	7,1 ± 1,0	3,2 ± 0,6

минут, промывали в двух порциях дистиллированной воды и помещали в чашки Петри с безгормональной средой Мурасиге и Скуга (МС) для проращивания [15]. Асептические проростки в возрасте 4-5 дней пересаживали в пробирки с питательной средой того же минерального состава и переносили на стеллажи со светодиодными лампами фирмы GALAD (Россия), варианты опыта отличались по соотношению синего (450 нм) и красного света (660 нм) в общем спектре. На каждый вариант приходилось по 10 растений, продолжительность культивирования – 28 суток. Первый режим включал культивирование с 1-х по 14-е сутки под 100% красным светом, с 15-х до 28-х суток под световым режимом 60% (от общей облученности) красного и 40% синего света. Второй режим предполагал культивирование на протяжении 28 суток при соотношении красного и синего света 90% и 10%, соответственно, третий режим – 60% красного и 40% синего света, четвертый – 32% красного, 68% синего света. Общая интенсивность освещения составляла во всех вариантах 175 мкмоль/м²с. В качестве режима сравнения были выбраны условия культивирования световой комнаты – люминесцентные лампы 3000 люкс, продолжительность светового дня 16 ч.

Результаты и обсуждение

Было изучено влияние спектрального состава света на рост асептических растений чабера садового сортов Гном и Перечный аромат. Значения морфометрических показателей представлены в таблице (приведены средние значения и доверительные интервалы).

На первом режиме, который включал культивирование растений до 14-х суток под красным светом (данный режим был выбран по данным литературы для лучшего роста побегов), с 15-х до 28-х суток под световым режимом 60% красного и 40% синего света, формировались самые высокие растения. При этом до 14-х суток под красными светодиодами образовывались длинные междоузлия (до 30-40 мм) и мелкие листья (не более 4 мм в длину). Перемещение под световой режим 60% красного и 40% синего света способствовало формированию более крупных листьев (5-8 мм) и коротких междоузлий. К 28-м суткам растения обоих сортов по высоте достоверно превосходили контроль, однако по количеству настоящих листьев и узлов достоверных различий не было (табл.).

На втором световом режиме (90% красного, 10% синего) растения были ниже, с большим количеством узлов и листьев. Листья формировались более крупные округлой формы до 10 мм в длину. По всем морфометрическим показателям, отмеченным в таблице, достоверных отличий от контроля не наблюдали, кроме количества листьев у сорта Гном (10,4 шт. в опытном варианте и 6,1 шт. в контроле).

На третьем режиме (60% красного и 40% синего) растения сорта Гном сильно уступали контролю по высоте, однако превосходили по количеству листьев. Преимущество данного режима на растениях сорта Перечный аромат отмечали только по количеству листьев. Листья формировались очень крупные (10-13 мм в длину), вытянутой формы.

В четвертом режиме было наименьшее количество красного света в спектре – 32%, что приводило к формированию средних по высоте растений (на уровне контроля) с довольно крупными листьями (7-10 мм в длину), для которых было характерно активное развитие адвентивных корней. По количеству узлов достоверных различий от контроля у обоих сортов не было, у растений сорта Гном отмечали большее количество

настоящих листьев.

Полученные данные в целом согласуются с результатами, полученными ранее различными исследователями на других культурах. Так, согласно данным Johkan с соавт. на салате-латуке под синим светом формируются компактные, невысокие растения [16]. Корейские ученые показали, что при использовании светодиодно-го освещения на рисе красный свет приводил к формированию более высоких растений, но с меньшей площадью листьев [17]. На винограде были получены аналогичные данные: использование красного света способствовало формированию высоких растений за счет удлинения междоузлий [18]. Однако некоторые исследователи отмечают, что площадь листьев при использовании большей доли красного света увеличивается, что может быть связано с видо- и сортоспецифичной реакцией [19].

У растений обоих сортов на всех режимах освещения отмечалась антоциановая окраска стебля и семядольных листьев (рис.). Согласно литературным данным, красный свет с длиной волны 660 нм не только вызывает рост стебля и гипокотыля, но и влияет на синтез антоцианов [11]. При культивировании асептических растений данных сортов под люминесцентными лампами белого света (обычный режим культивирования в условиях световой комнаты в биотехнологической лаборатории) антоциановой окраски стебля не наблюдалось.

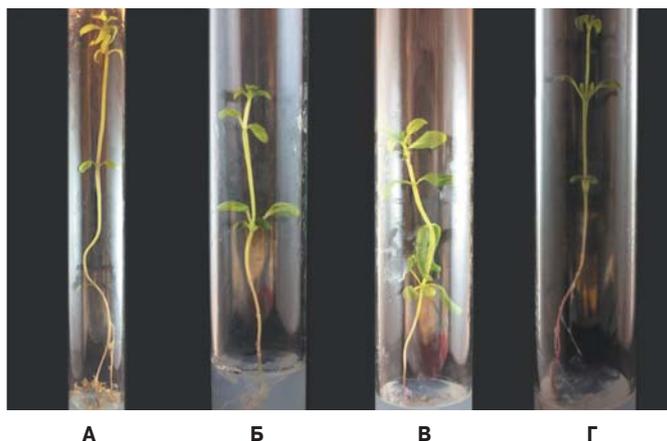


Рис. Внешний вид растений *S. hortensis* сорта Перечный аромат, выращенных при различных световых режимах: А – 100% КС + 60% КС, 40% СС; Б – 90% КС, 10% СС; В – 60% КС, 40% СС; Г – 68% КС, 32% СС
Fig. The appearance of plants of *S. hortensis* cv. Perechniy aromat grown under different light conditions

Выводы

Изменение соотношения синего и красного света в общем спектре влияет на морфометрические показатели растений чабера садового в культуре *in vitro*. При культивировании под 100% красным светом формируются высокие растения с длинными междоузлиями и мелкими листьями. Сокращение доли красного света до 60...32% приводит к формированию более низкорослых растений с крупными листьями. Такие растения удобно использовать для клонального микроразмножения (например, для размножения ценных селекционных форм), а также для получения листовых эксплантов в культуре *in vitro* при индукции соматоклональной вариабельности в каллусной культуре или при проведении клеточной селекции на устойчивости к стрессовым факторам (для создания исходного материала для селекции).

Об авторах:

Хлебникова Дарья Анатольевна
<https://orcid.org/0001-0001-8188-2276>

Лобова Анна Артёмовна
<https://orcid.org/0000-0002-6141-5483>

Аладина Ольга Николаевна – консультант диссертационных советов, доктор с.-х. наук, проф., Researcher ID A-6807-2016

Чередниченко Михаил Юрьевич – кандидат биол. наук, доцент кафедры биотехнологии, Researcher ID O-6896-2017

About the authors:

Daria A. Khlebnikova
<https://orcid.org/0001-0001-8188-2276>

Anna A. Lobova
<https://orcid.org/0000-0002-6141-5483>

Olga N. Aladina – consultant, dissertation advice, Dc. Sci. (Agriculture), Prof. Researcher ID A-6807-2016

Mikhail Yu. Cherednichenko – PhD (Biology), Associate Prof. Researcher ID O-6896-2017

● Литература

- Gora J., Lis A. Chemical Composition of the Essential Oil of Cultivated Summer Savory (*Satureja hortensis* L. cv. Saturn). *Essent. Oil Res.* 1996;8(4):427-428. DOI: 10.1080/10412905.1996.9700656
- Tepe B., Cilkiz M. A pharmacological and phytochemical overview on *Satureja* // *Pharmaceutical Biology*. 2016;54(3):375-412. DOI: 10.3109/13880209.2015.1043560
- Tepe B., Sokmen A. Production and optimisation of rosmarinic acid by *Satureja hortensis* L. callus cultures. *Natural Product Research*. 2007;21(13):1133-1144. DOI: 10.1080/14786410601130737
- Fierascu I., Dinu-Pirvu C.E., Fierascu R.C. et al. Phytochemical Profile and Biological Activities of *Satureja hortensis* L.: A Review of the Last Decade. *Molecules*. 2018;23(2458):1-19. DOI: 10.3390/molecules23102458
- Решетников В.Н., Спиридович Е.В., Носов А.М. Биотехнология растений и перспективы ее развития. *Физиология растений и генетика*. 2014;46(1):3-18.
- Малярковская В.И., Коломиец Т.М., Соколов Р.Н. и др. Влияние спектрального состава света на рост и развитие *Lilium caucasicum* в условиях культуры *in vitro*. *Научный журнал КубГАУ*. 2013;94(10):1-11.
- Massa G., Graham T., Haire T. et al. Light emitting diode light transmission through leaf tissue of seven different crops. *HortScience*. 2015;50(3):501-506. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.3.501
- Muneer S., Kim E.J., Park J.S. et al. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *Int. J. Mol. Sci.* 2014;15(3):4657-4670. DOI: 10.3390/ijms15034657
- Christie J.M., Blackwood L., Petersen J. et al. Plant flavoprotein photoreceptors. *Plant Cell Physiol.* 2014;56(3):401-413. DOI: 10.1093/pcp/pcu196
- Metallo R.M., Kopsell D.A., Sams C.E. et al. Influence of blue/red vs. white LED light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale. *Scientia Horticulturae*. 2018;(235):189-197. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.02.061
- Кузнецов В.В., Дмитриева Г.А. Физиология растений. М.: Абрис, 2011. 783 с.
- Протасова Н.Н., Кефели В.И. Фотосинтез и рост высших растений, их взаимосвязь и корреляции. Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С.251-270.
- Chao D.-Y., Lin H.-X. The tricks plants use to reach appropriate light. *Sci. China Life Sci.* 2010;53(8):916-926. DOI: 10.1007/s11427-010-4047-8
- Pierik R., de Wit M. Shade avoidance: phytochrome signaling and other aboveground neighbour detection cues. *J. Exp. Bot.* 2013;65(11):2815-2824. DOI: 10.1093/jxb/ert389
- Хлебникова Д.А., Чередниченко М.Ю. Введение *Satureja hortensis* L. в культуру *in vitro*. Вавиловские чтения – 2017: Сборник статей межд. науч.-практ. конф., посвященной 130-й годовщине со дня рождения академика Н.И. Вавилова. Саратов, Саратовский ГАУ, ООО «Амирит», 2017. С.99-102.
- Johkan M., Shoji K., Goto F. et al. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*. 2010;45(12):1809-1814. DOI: 10.21273/HORTSCI.45.12.1809
- Tran L.H., Jung S. Effects of Light-Emitting Diode Irradiation on Growth Characteristics and Regulation of Porphyrin Biosynthesis in Rice Seedlings. *Int. J. Mol. Sci.* 2017;18(3):641-11. DOI:10.3390/ijms18030641
- Poudel P.R., Kataoka I., Mochioka R. Effect of red-and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2008;(92):147-153. DOI: 10.1007/s11240-007-9317-1
- Яковцева М.Н., Говорова Г.Ф., Тараканов И.Г. Фотоморфогенетическая регуляция роста, развития и продукционного процесса растений земляники садовой (*Fragaria x ananassa* L.) в условиях светокультуры. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015;(3):25-35.

● References

- Gora J., Lis A. Chemical Composition of the Essential Oil of Cultivated Summer Savory (*Satureja hortensis* L. cv. Saturn). *Essent. Oil Res.* 1996;8(4):427-428. DOI: 10.1080/10412905.1996.9700656
- Tepe B., Cilkiz M. A pharmacological and phytochemical overview on *Satureja* // *Pharmaceutical Biology*. 2016;54(3):375-412. DOI: 10.3109/13880209.2015.1043560
- Tepe B., Sokmen A. Production and optimisation of rosmarinic acid by *Satureja hortensis* L. callus cultures. *Natural Product Research*. 2007;21(13):1133-1144. DOI: 10.1080/14786410601130737
- Fierascu I., Dinu-Pirvu C.E., Fierascu R.C. et al. Phytochemical Profile and Biological Activities of *Satureja hortensis* L.: A Review of the Last Decade. *Molecules*. 2018;23(2458):1-19. DOI: 10.3390/molecules23102458
- Reshetnikov V.N., Spiridovich E.V., Nosov A.M. Plant biotechnology and perspectives of its development. *Plant physiology and genetics*. 2014;46(1):3-18. [in Russian]
- Malyarovskaya V.I., Kolomiets T.M., Sokolov R.N. et al. The effect of light spectral composition on growth and development of *Lilium caucasicum* under *in vitro* conditions. *Scientific journal of KubSAU*. 2013;94(10):1-11. [in Russian]
- Massa G., Graham T., Haire T. et al. Light emitting diode light transmission through leaf tissue of seven different crops. *HortScience*. 2015;50(3):501-506. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.3.501
- Muneer S., Kim E.J., Park J.S. et al. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *Int. J. Mol. Sci.* 2014;15(3):4657-4670. DOI: 10.3390/ijms15034657
- Christie J.M., Blackwood L., Petersen J. et al. Plant flavoprotein photoreceptors. *Plant Cell Physiol.* 2014;56(3):401-413. DOI: 10.1093/pcp/pcu196
- Metallo R.M., Kopsell D.A., Sams C.E. et al. Influence of blue/red vs. white LED light treatments on biomass, shoot morphology, and quality parameters of hydroponically grown kale. *Scientia Horticulturae*. 2018;(235):189-197. DOI: 10.1016/j.scienta.2018.02.061
- Kuznetsov V.V., Dmitrieva G.A. Plant physiology. M.: Abris, 2011. 783 p. [in Russian]
- Protasova N.N., Kefeli V.I. Photosynthesis and growth of higher plants, its interrelation and correlations. Physiology of photosynthesis. M.: Nauka, 1982. P.251-270. [in Russian]
- Chao D.-Y., Lin H.-X. The tricks plants use to reach appropriate light. *Sci. China Life Sci.* 2010;53(8):916-926. DOI: 10.1007/s11427-010-4047-8
- Pierik R., de Wit M. Shade avoidance: phytochrome signaling and other aboveground neighbour detection cues. *J. Exp. Bot.* 2013;65(11):2815-2824. DOI: 10.1093/jxb/ert389
- Khlebnikova D.A., Cherednichenko M.Yu. Introduction of *Satureja hortensis* L. into *in vitro* culture. Vavilovskiye chteniya – 2017: Sbornik statey mezhd. nauch.-prakt. konf., posvyashchennoy 130-y godovshchine so dnya rozhdeniya akademika N.I. Vavilova. Saratov: Saratov SAU, Amirit Ltd., 2017. P.99-102. [in Russian]
- Johkan M., Shoji K., Goto F. et al. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. *HortScience*. 2010;45(12):1809-1814. DOI: 10.21273/HORTSCI.45.12.1809
- Tran L.H., Jung S. Effects of Light-Emitting Diode Irradiation on Growth Characteristics and Regulation of Porphyrin Biosynthesis in Rice Seedlings. *Int. J. Mol. Sci.* 2017;18(3):641-11. DOI:10.3390/ijms18030641
- Poudel P.R., Kataoka I., Mochioka R. Effect of red-and blue-light-emitting diodes on growth and morphogenesis of grapes. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 2008;(92):147-153. DOI: 10.1007/s11240-007-9317-1
- Yakovtseva M.N., Govorova G.F., Tarakanov I.G. Photomorphogenetic control of growth, development and crop production in strawberry (*Fragaria x ananassa* L.) grown with artificial lighting. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2015;(3):25-35. [in Russian]