

Инна Валерьевна Князева<sup>1✉</sup>, Елена Анатольевна Калашникова<sup>2</sup>,  
Данила Романович Илюшин<sup>3</sup>, Оксана Владимировна Вершинина<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Россия

<sup>2,3</sup>Российский государственный аграрный университет-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>1</sup>knyazewa.inna@yandex.ru

<sup>2</sup>kalash0407@mail.ru

<sup>3</sup>severymonst@mail.ru

<sup>4</sup>vershinina.oks@yandex.ru

## ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНОГО ОСВЕЩЕНИЯ НА АДАПТАЦИЮ РАСТЕНИЙ-РЕГЕНЕРАНТОВ МЯТЫ ВОДНОЙ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

Скорость роста, биомасса растений и концентрация полезных соединений во многом зависят от качества и интенсивности освещения. Цель исследования – изучение влияния светодиодного освещения на процесс адаптации растений-регенерантов мяты водной с использованием цифровой климатической камеры. В ходе исследований изучаемым объектом служили микроклоны мяты водной (*Mentha aquatica* L.). Микроклоны мяты водной были выращены методом культуры клеток и ткани *in vitro* в лаборатории Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева. В дальнейшем был проведен комплекс мер по адаптации растений *in vitro* к условиям *ex vitro* с использованием цифровой климатической камеры производства ВИМ (Россия). Адаптацию растений-регенерантов проводили с использованием двух вариантов светодиодного освещения (LED): В:G:R ~ 16:42:39 и В:G:R ~ 26:66:49 в течение 24 суток. Оценивая интенсивность роста растений в динамике к 24-м суткам, выявили существенные различия между вариантами светодиодного освещения. При изучении количественного содержания фотосинтетических пигментов было установлено, что разная интенсивность освещения не повлияла на накопление общего хлорофилла и каротиноидов в листьях мяты водной. Установлено существенное влияние интенсивности освещения светодиодными источниками света на корнеобразование мяты водной. В результате оценки эффективности применения различных спектров светодиодного освещения для повышения укореняемости мяты водной к условиям *ex vitro* определен технологический прием использования светодиодного освещения со спектральным составом В:G:R ~ 16:42:39 и суммарной ФАР – 100 ммоль/м<sup>2</sup>с.

**Ключевые слова:** мята водная, светодиодное освещение, адаптация растений *in vitro*, пигменты, климатическая камера

**Для цитирования:** Влияние светодиодного освещения на адаптацию растений-регенерантов мяты водной в климатической камере / И.В. Князева [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 10. С. 41–47. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-41-47.

Inna Valerievna Knyazeva<sup>1✉</sup>, Elena Anatolyevna Kalashnikova<sup>2</sup>, Danila Romanovich Ilyushin<sup>3</sup>,  
Oksana Vladimirovna Vershinina<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup>Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russia

<sup>2,3</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

<sup>1</sup>knyazewa.inna@yandex.ru

<sup>2</sup>kalash0407@mail.ru

<sup>3</sup>severymonst@mail.ru

<sup>4</sup>vershinina.oks@yandex.ru

## LED LIGHTING EFFECT ON THE ADAPTATION OF WATER MINT REGENERANT PLANTS IN AN ENVIRONMENTAL CHAMBER

Growth rate, plant biomass and concentration of beneficial compounds largely depend on the quality and intensity of lighting. The purpose of research is to study LED lighting on the process of adaptation of regenerated watermint plants using a digital climate camera. During research, the object studied was microclones of watermint (*Mentha aquatica* L.). Watermint microclones were grown by *in vitro* cell and tissue culture in the laboratory of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. Subsequently, a set of measures was carried out to adapt plants *in vitro* to *ex vitro* conditions using a digital climate chamber produced by VIM (Russia). Adaptation of regenerated plants was carried out using two options of light-emitting diode lighting (LED): B:G:R ~ 16:42:39 and B:G:R ~ 26:66:49 for 24 days. Assessing the intensity of plant growth over time by the 24th day, significant differences were revealed between the LED lighting options. When studying the quantitative content of photosynthetic pigments, it was found that different light intensities did not affect the accumulation of total chlorophyll and carotenoids in watermint leaves. A significant influence of the intensity of illumination from LED light sources on the root formation of watermint has been established. As a result of assessing the effectiveness of using different spectra of LED lighting to increase the rooting of watermint under *ex vitro* conditions, a technological method of using LED lighting with a spectral composition B:G:R ~ 16:42:39 and a total PAR of 100 mmol/m<sup>2</sup>s was determined.

**Keywords:** watermint, LED lighting, *in vitro* plant adaptation, pigments, climate chamber

**For citation:** Led lighting effect on the adaptation of water mint regenerant plants in an environmental chamber / I.V. Knyazeva [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(10): 41–47. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-10-41-47.

**Введение.** Водяная мята (*Mentha aquatica*) – ароматическая и лекарственная культура, которая хорошо известна своими лечебными свойствами из-за производства большого количества терпеноидных компонентов [1]. Лекарственные свойства мяты водной обусловлены наличием фитохимических компонентов, имеющих большое экономическое значение [2]. Эти растения синтезируют важные вещества с анксиолитической, антиоксидантной, антихолинэстеразной и антибактериальной активностью, которые оказывают положительное влияние на здоровье человека [3].

Наряду с традиционными методами вегетативного размножения растений в последние годы активно применяют современные биотехнологические приемы, которые позволяют ускоренно получать необходимое количество генетически однородных оздоровленных культур.

Адаптация растений в культуре *in vitro* является заключительным этапом клонального микроразмножения. Известно, что спектральный состав освещения является важным фактором при укоренении и адаптации различных видов растений в культуре *in vitro* [4]. Применение светодиодов различной интенсивности и спектрального состава может стимулировать формирование побегов и корнеобразование. Исследования в данном направлении являются перспективными и актуальными во многих зарубежных науч-

ных учреждениях [5, 6]. По данным латвийских ученых, светодиодное освещение полного спектра значительно повлияло ( $p < 0,05$ ) на развитие корневой системы у мериклонов *Eryngium maritimum* L. на стадии адаптации *ex vitro* [7]. Светодиодное освещение со спектральным составом в пропорции B:G:R ~ 21:59:70 значительно влияло на увеличение площади листа мяты, выращенной в закрытых агроэкосистемах [8]. В работе иранских авторов [9] представлены результаты влияния УФ-излучения на биохимические, морфологические и молекулярные показатели мяты водной.

**Цель исследования** – изучение влияния светодиодного освещения на ростовые процессы растений-регенерантов мяты водной при адаптации к условиям *ex vitro*.

**Объекты и методы.** В ходе исследований изучаемым объектом служили микроклоны мяты водной (*Mentha aquatica* L.) из рода *Mentha*, семейства *Lamiaceae*. *M. aquatica* – многолетнее травянистое растение. Стебли прямые, ветвящиеся, опушенные. В естественных условиях населяет прибрежные зоны рек и ручьев, а также заболоченные участки и культивируется по всему миру [10].

Микроклоны мяты водной были выращены методом культуры клеток и ткани *in vitro* в лаборатории биотехнологии на базе Российского государственного аграрного университета –

МСХА им. К.А. Тимирязева. В дальнейшем был проведен комплекс мер по адаптации растений *in vitro* к условиям *ex vitro* с использованием климатической камеры производства ВИМ (Россия) на базе Федерального научного агроинженерного центра ВИМ.

Растения-регенеранты извлекали из пробирок пинцетом, корневую систему отмывали водопроводной водой от остатков питательной среды, на несколько секунд помещали в слабый раствор перманганата калия ( $KMnO_4$ ). После чего высаживали их в предварительно увлажненный и пролитый раствором  $KMnO_4$  почвенный грунт с перлитом в соотношении 1:1. Почвенный грунт имел следующий состав: органические вещества – 90–95 %; кислотность pH ( $H_2O$ ) – 5,5–6,5; азот (N) – 75–150 мг/л; фосфор ( $P_2O_5$ ) – 75–150 мг/л; калий ( $K_2O$ ) – 80–200 мг/л.

В каждый горшок объемом 0,2 л высаживали по одному микроклону. Дальнейшее развитие микроклонов проходило в климатической камере для адаптации растений в течение 24 сут.

При проведении эксперимента в камере выдерживали следующие условия: температурный режим поддерживали в пределах 22–24 °С при 18-часовом фотопериоде. Показатель относительной влажности воздуха был задан на начало этапа адаптации (98 %) и на конец периода адаптации (30 %). В течение заданного периода (24 сут) система автоматики рассчитывала необходимый уровень влажности воздуха и плавно понижала его к концу периода. Цикл полива происходил 2 раза в сутки по 5 мин.

Адаптацию растений-регенерантов проводили с использованием двух вариантов светодиодного освещения (LED).

1. Синий/blue (16 ммоль/ $m^2c$ ), зеленый/green (42 ммоль/ $m^2c$ ), красный/red (39 ммоль/ $m^2c$ ) и дальний красный (3 ммоль/ $m^2c$ ) спектр, с суммарной ФАР 100 ммоль/ $m^2c$  (рис. 1).

2. Синий/blue (26 ммоль/ $m^2c$ ), зеленый/green (66 ммоль/ $m^2c$ ), красный/red (49 ммоль/ $m^2c$ ) и дальний красный (5 ммоль/ $m^2c$ ) спектр, с суммарной ФАР 146 ммоль/ $m^2c$  (рис. 2).

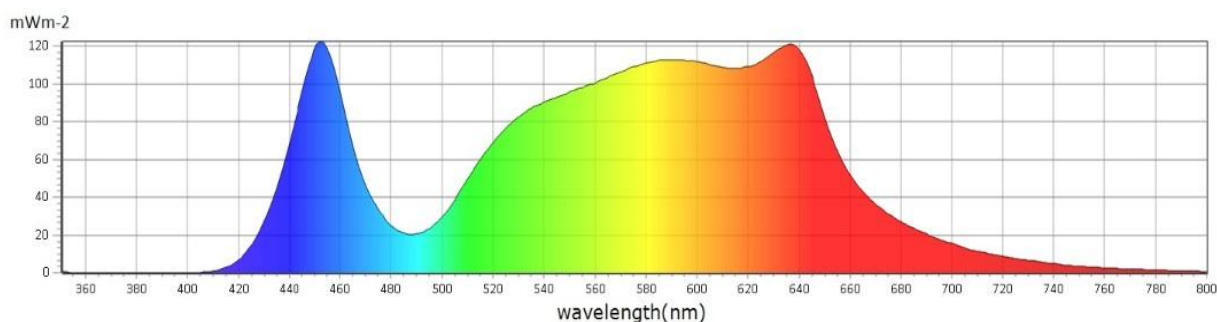


Рис. 1. Спектральный состав (пропорции В : G : R ~ 16 : 42 : 39) освещения растений-регенерантов мяты водной (верхняя полка)

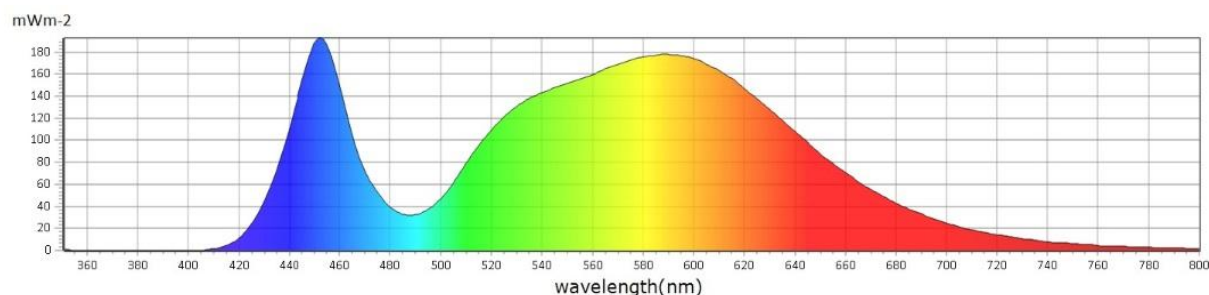


Рис. 2. Спектральный состав (пропорции В : G : R ~ 26 : 66 : 49) освещения растений-регенерантов мяты водной (нижняя полка)

Измерения плотности потока фотонов и спектрального состава излучения проводили с помощью прибора МК350D Compact Spectrometer (UPRtek Corp. Miaoli County, Taiwan).

На этапе адаптации растений-регенерантов учитывали следующие показатели: число корней (шт.), длину корней (см), высоту побега (см) и накопление основных фотосинтетических побегов (мг/г).

Количественное содержание основных пигментов в листьях мяты водной определяли на спектрофотометре Спекс ССП-705М (Россия). При определении содержания хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов использовали следующие длины волн: 662, 644 и 440,5 нм соответственно. Концентрацию пигментов рассчитывали для 100 % ацетона по уравнению Хольма-Веттштейна [11].

Статистическую обработку результатов проводили по стандартным методикам. Использовали НСР и тест Дункана для проверки значимости полученных данных при уровне вероятности  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Адаптация растений к нестерильным условиям является

одним из сложных и трудоемких этапов клонального микроразмножения, связанного с возникновением трудностей из-за смены условий культивирования (переход от 100 % влажности воздуха к 60 % и ниже). В зависимости от видовых и сортовых особенностей потери растений на этом этапе могут достигать 50–90 %. Поэтому основной целью этапа адаптации растений является создание таких условий, при которых гибель растений на данном этапе будет сведена к минимуму. Использование климатической камеры с функцией постепенного снижения влажности позволило более успешно адаптировать растения мяты водной к условиям *ex vitro*, где приживаемость растений составила 100 % (рис. 3).



Рис. 3. Адаптация растений мяты водной в климатической камере ВИМ

На этапе адаптации было изучено влияние высокоэффективных источников освещения LED различной интенсивности на биометрические показатели и накопление фотосинтетических пигментов растений мяты водной.

Высота побегов растений мяты водной при выращивании в условиях двух вариантов светодиодного освещения (рис. 4) существенно не различалась. На начальных этапах роста и развития растений высота побегов варьировала в пределах 3,59–6,06 см на протяжении 8–15 сут наблюдений.

Оценивая интенсивность роста растений в динамике к 24-м сут, наблюдали существенные

различия между вариантами светодиодного освещения. Наибольшая высота побегов (10,96 см) отмечена в варианте 1 с суммарной ФАР 100 ммоль/м<sup>2</sup>с.

При изучении количественного содержания фотосинтетических пигментов было установлено, что разная интенсивность освещения не повлияла на накопление общего хлорофилла и каротиноидов в листьях мяты водной (табл.).

Установлено существенное влияние светодиодного освещения различной интенсивности на корнеобразование мяты водной (рис. 5).

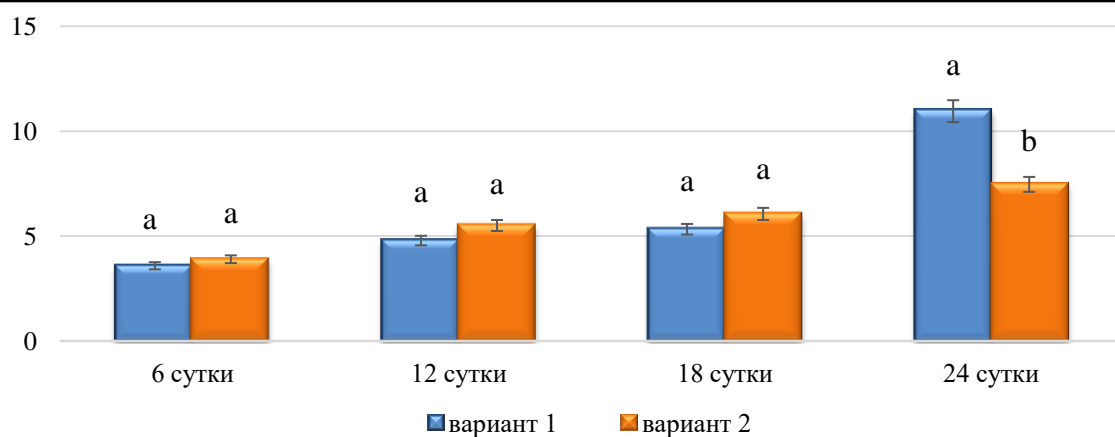


Рис. 4. Средняя высота побегов мяты водной в зависимости от интенсивности светодиодного освещения

**Содержание основных фотосинтетических пигментов в растениях мяты водной, мг/г**

Вариант светодиодного освещения	Хлорофилл			Каротиноиды
	a	b	a + b	
1	5,81±0,1	2,07±0,1	7,88±0,2	1,65±0,1
2	6,49±0,2	2,16±0,1	8,65±0,2	1,86±0,1
НСР <sub>05</sub>	1,84	0,61	2,45	0,56

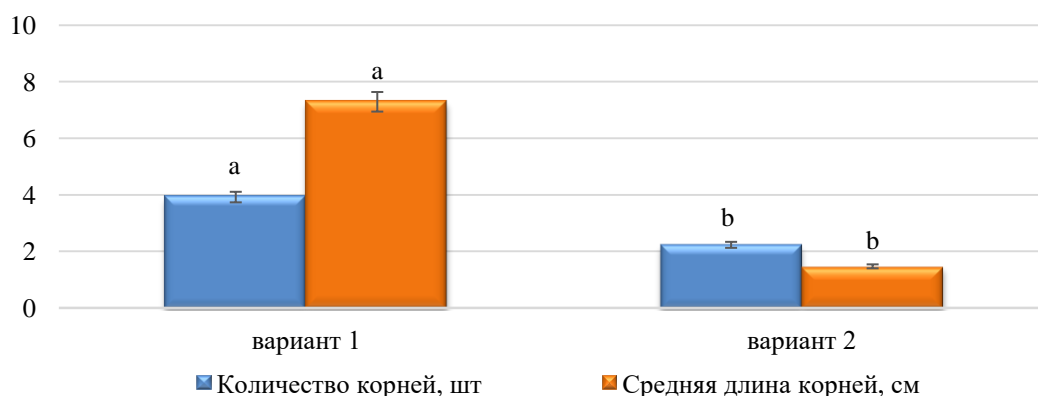


Рис. 5. Развитие корневой системы растений мяты водной на 24-е сут наблюдений

Отмечено, что количество корней и длина корней мяты водной возрастают при адаптации с применением светодиодного освещения в варианте 1 (ФАР – 100 ммоль/м<sup>2</sup>с) по сравнению с освещением варианта 2 (ФАР – 146 ммоль/м<sup>2</sup>с). В среднем большее число корней формировалось у мяты водной с показателем 3,92 шт. Анализ полученных данных установил, что средняя длина корней растений мяты водной значительно возрастает в варианте 1 – до 7,29 см, что в 5 раз (1,47 см) превышает длину корней при освещении растений спектром варианта 2.

На основе полученных данных по применению светодиодного освещения широкого спектрального состава с разной интенсивностью установлена возможность повышения, эффективности корнеобразования у растений-регенерантов мяты водной в процессе адаптации к условиям *ex vitro*.

При завершении этапа адаптации в условиях климатической камеры отмечался активный рост и формирование хорошо развитых растений, пригодных для высадки в открытый грунт (рис. 6).



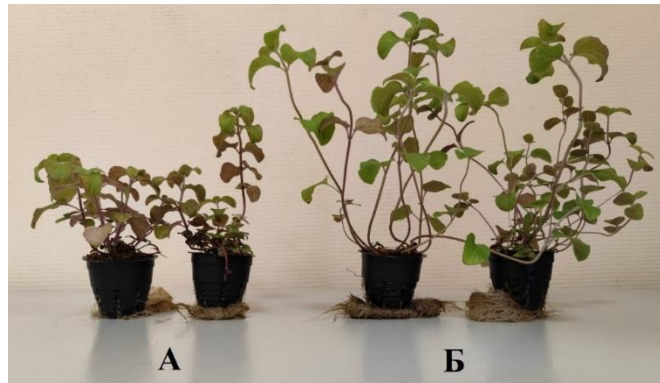


Рис. 6. Адаптированные растения мяты водной в климатической камере при разной интенсивности освещения: А – при ФАР 146 ммоль/м<sup>2</sup>с (вариант 2); Б – при ФАР 100 ммоль/м<sup>2</sup>с (вариант 1)

При подборе оптимальной интенсивности освещения LED для повышения укореняемости микроклонов мяты водной необходимо учитывать особенности культуры.

**Заключение.** Выявлено существенное влияние интенсивности освещения на длину побегов, а также длину и количество корней, развивающихся у растений-регенерантов мяты водной на этапе адаптации к условиям *ex vitro*. В первом варианте, где ФАР составил 100 ммоль/м<sup>2</sup>с, средняя длина корней, побегов и количество корней оказались выше, чем у растений, находившихся в условиях второго варианта с интенсивностью в области ФАР 146 ммоль/м<sup>2</sup>с. При оценке содержания фотосинтетических пигментов в биомассе от изучаемого параметра не было выявлено существенных различий. Таким образом, экспериментально доказано, что правильно подобранная интенсивность освещения может положительно влиять на рост вегетативной массы и корневой системы растений мяты водной.

#### Список источников

1. Nazari M., Zarinkamar F., Niknam V. Changes in primary and secondary metabolites of *Mentha aquatica* L. exposed to different concentrations of manganese // *Environ Sci Pollut Res.* 2018. DOI: 10.1007/s11356-017-0889-y.
2. Lotus flavonoids and phenolic acids: health promotion and safe consumption dosages / J. Limwachiranon [et al.] // *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2018. 17. P. 458–471.
3. Antioxidant, anticholinesterase and antibacterial activities of *Stachys guyoniana* and *Mentha aquatica* / M. Ferhat [et al.] // *Pharm. Biol.*, 2017.55. P. 324–329.
4. Azmi N.S., Ahmad R., Ibrahim R. Fluorescent light (FL), red led and blue led spectrums effects on in vitro shoots multiplication // *J. Teknologi (Sci. & Engineering)*. 2016. Vol. 78. № 6-6, P. 93–97.
5. Fukuda N. Plant Growth and Physiological Responses to Light Conditions. // *In Plant Factory Using Artificial Light*; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019. P. 71–77. DOI: 10.1016/B978-0-12-813973-8.00008-7.
6. Effects of Light Spectral Quality on the Micropropagated Raspberry Plants during Ex Vitro Adaptation. / I.G. Tarakanov [et al.] // *Plants.* 2021. 10. 2071. DOI: 10.3390/plants10102071.
7. Large-Scale *In Vitro* Propagation and *Ex Vitro* Adaptation of the Endangered Medicinal Plant *Eryngium maritimum* L. / I. Mežaka [et al.] // *Horticulturae.* 2023. 9. 271. DOI: 10.3390/horticulturae9020271.
8. Технологические приемы выращивания мяты и мелиссы на вертикальных стелажках / И.В. Князева [и др.] // *Вестник КрасГАУ.* 2021. № 11. С. 78–84.
9. Nazari M., Zarinkamar F. Ultraviolet-B induced changes in *Mentha aquatica* (a medicinal plant) at early and late vegetative growth stages: Investigations at molecular and genetic levels // *Industrial Crops & Products* 154. 2020. 112618. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112618.
10. *Mentha*: A genus rich in vital nutraceuticals-A review / F. Anwar [et al.] // *Phytother. Res.* 2019. 33, 2548–2570.
11. Голубкина Н.А., Кенина Е.Г., Молчанова А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения. М.: ИНФРА-М, 2020. 181 с.

References

1. Nazari M., Zarinkamar F., Niknam V. Changes in primary and secondary metabolites of *Mentha aquatica* L. exposed to different concentrations of manganese // Environ Sci Pollut Res. 2018. DOI: 10.1007/s11356-017-0889-y.
2. Lotus flavonoids and phenolic acids: health promotion and safe consumption dosages / J. Limwachiranon [et al.] // Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 2018. 17. P. 458–471.
3. Antioxidant, anticholinesterase and antibacterial activities of *Stachys guyoniana* and *Mentha aquatica* / M. Ferhat [et al.] // Pharm. Biol., 2017.55. P. 324–329.
4. Azmi N.S., Ahmad R., Ibrahim R. Fluorescent light (FL), red led and blue led spectrums effects on in vitro shoots multiplication // J. Teknologi (Sci. & Engineering). 2016. Vol. 78. № 6-6, P. 93–97.
5. Fukuda N. Plant Growth and Physiological Responses to Light Conditions. // In Plant Factory Using Artificial Light; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2019. P. 71–77. DOI: 10.1016/B978-0-12-813973-8.00008-7.
6. Effects of Light Spectral Quality on the Micropropagated Raspberry Plants during Ex Vitro Adaptation. / I.G. Tarakanov [et al.] // Plants. 2021. 10. 2071. DOI: 10.3390/plants10102071.
7. Large-Scale *In Vitro* Propagation and *Ex Vitro* Adaptation of the Endangered Medicinal Plant *Eryngium maritimum* L. / I. Mežaka [et al.] // Horticulturae. 2023. 9. 271. DOI: 10.3390/horticulturae9020271.
8. Tehnologicheskie priemy vyraschivaniya myaty i melisy na vertikal'nyh stelazhah / I.V. Knyazeva [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 11. S. 78–84.
9. Nazari M., Zarinkamar F. Ultraviolet-B induced changes in *Mentha aquatica* (a medicinal plant) at early and late vegetative growth stages: Investigations at molecular and genetic levels // Industrial Crops & Products 154. 2020. 112618. DOI: 10.1016/j.indcrop.2020.112618.
10. Mentha: A genus rich in vital nutraceuticals-A review / F. Anwar [et al.] // Phytother. Res. 2019. 33, 2548–2570.
11. Golubkina N.A., Kenina E.G., Molchanova A.V. Antioksidanty rastenij i metody ih opredeleniya. M.: INFRA-M, 2020. 181 s.

Статья принята к публикации 12.04.2023 / The article accepted for publication 12.04.2023.

Информация об авторах:

**Инна Валерьевна Князева**<sup>1</sup>, старший научный сотрудник лаборатории исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов, кандидат биологических наук

**Елена Анатольевна Калашникова**<sup>2</sup>, профессор кафедры биотехнологии, доктор биологических наук, профессор

**Данила Романович Илюшин**<sup>3</sup>, студент 3-го курса

**Оксана Владимировна Вершинина**<sup>4</sup> – научный сотрудник лаборатории исследований технологических свойств сельскохозяйственных материалов, кандидат сельскохозяйственных наук

Information about the authors:

**Inna Valerievna Knyazeva**<sup>1</sup>, Senior Researcher, Laboratory for Research of Technological Properties of Agricultural Materials, Candidate of Biological Sciences

**Elena Anatolyevna Kalashnikova**<sup>2</sup>, Professor at the Department of Biotechnology, Doctor of Biological Sciences, Professor

**Danila Romanovich Ilyushin**<sup>3</sup>, 3rd year Student

**Oksana Vladimirovna Vershinina**<sup>4</sup> – Researcher, Laboratory for Research of Technological Properties of Agricultural Materials, Candidate of Agricultural Sciences