

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ ОТВЕТ КАРТОФЕЛЯ *IN VITRO*

ВАРУШКИНА Александра Михайловна, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

ЯХИНА Азалия Ильдаровна, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

ШИРИНКИНА Алиса Сергеевна, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук

ЦЁМА Любовь Геннадьевна, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ПФИЦ УрО РАН

ЛАТЫПОВА Анна Леонидовна, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ПФИЦ УрО РАН

8

Одним из этапов выращивания высококачественного семенного картофеля в оригинальном семеноводстве является микроклональное размножение исходных растений *in vitro*. Для оптимального роста клонов в фитотронах поддерживает определенные параметры микроклимата (температурный режим, режим влажности воздуха и режим освещения). Необходимо учитывать специфическую реакцию микrorастений сортов картофеля и в соответствии с этим тщательно подбирать спектральный состав освещения. Цель работы – изучение влияния различных источников освещения на морфологические показатели 22 сортов микроклонов картофеля. Для эксперимента отбирали по 10 клонов каждого сорта. Через 27 сут. культивирования измеряли ростовые показатели: длину корней, высоту растений и количество междуузлий. Источниками освещения служили светодиодные облучатели ECOLED-BIO-195W-D120 FMatrix IP66, ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED и 3-ECOLED-60-LX Fito IP65 (ООО «СЭТ»). Впервые были получены данные о влиянии света на многочисленную выборку сортов картофеля, демонстрирующие значительные различия в физиологическом ответе растений на условия освещения. По результатам исследований было установлено, что среди изученных светильников ECOLED-60-LX Fito IP65 является оптимальным источником фотосинтетически активной радиации для растений, оказывая стимулирующее влияние на процессы роста регенерантов картофеля, включая высоту растений, длину корней и количество междуузлий.

АГРАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

4
2021

Введение. Картофель является одним из ценнейших сельскохозяйственных растений, что обуславливает высокую заинтересованность в изучении оптимальных условий его культивирования. В мировом производстве растительных продуктов он занимает четвертое место после риса, пшеницы и кукурузы. Кроме повсеместного использования в пищу, картофель является ценным сырьем для приготовления консервов, крахмала, необходим в кондитерской, хлебопекарной, текстильной, бумажной и других видах промышленности [13].

Семеноводство картофеля на безвирусной основе является эффективной системой приемов, направленных на его оздоровление, поддержание в здоровом состоянии и получении высокопродуктивного картофеля. Одним из этапов тиражирования и выращивания высококачественного семенного картофеля в оригинальном семеноводстве является размножение исходных микrorастений *in vitro*. Проводят несколько циклов черенкований микrorастений с дальнейшим их выращиванием на искусственных питательных средах в течение зимне-весеннего периода в культивационных помещениях (фитотронах), в которых поддерживаются определенные параметры микроклимата (температурный режим, режим влажности воздуха и режим освещения). Микrorастения, предназначенными для клonalного размножения в культуре *in vitro*, должны быть зеленой окраски с хорошо развитой корневой системой и листовым аппаратом, с числом междуузлий не менее четырех [11]. Необходимо

учитывать специфическую реакцию микrorастений сортов картофеля. В течение многих лет для освещения пробирочных растений использовали люминесцентные лампы. В последние годы на рынке появились светодиодные облучатели, характеризующиеся низким расходом электроэнергии.

Светильники на основе светодиодов являются перспективным источником света для растений благодаря их высокой светоотдаче, возможности регулировки спектра излучения, длительного ресурса работы. Для увеличения продуктивности картофеля в условиях светокультуры необходимо тщательно подбирать спектральный состав освещения [1].

Долгое время считалось, что главное и единственное значение света для растений – это его участие в процессе фотосинтеза, а освещение, необходимое для роста и развития растений, совпадает со спектрами поглощения пигмента, участвующего в этом процессе – хлорофилла. Выделенный из хлоропластов и очищенный в лабораторных условиях хлорофилл поглощает свет преимущественно в красной (650–700) и синей (430–460) области спектра [17]. Однако позже выяснилось, что облучение растений в целях экономии узкоспектральными лампами снижает эффективность множества физиологических процессов, связанных с ассимиляцией азота, фосфора, синтеза пигментов, антиоксидантов и других соединений, что приводит к замедлению роста растений и ухудшению свойств конечного продукта [18]. Это связано с тем, что свет,

оказывающий влияние на растения, располагается в широком диапазоне от 280 до 750 нм [5, 12]. Использование узкоспектрального режима излучения с длинами волн 660 и 450 нм действительно может приводить к значительному повышению эффективности фотосинтеза, однако этот потенциал не реализуется в отношении продуктивности в условиях узкоспектрального облучения, что приводит к низкой скорости роста и накоплению биомассы растениями картофеля [5]. Таким образом, более целесообразно использовать для освещения растений не узкоспектральные лампы, а лампы белого света, достаточно интенсивные в области ФАР.

На данный момент определение оптимального состава спектра искусственного освещения проводилось в отношении только некоторых культурных растений: салата, редиса, подсолнечника, перца, левзеи сафлоровидной, китайской капусты и ряда других. На их основании были сделаны выводы о следующем оптимальном соотношении отдельных спектров для картофеля: 25–30 % – в синей, 20 % – в зеленой, 50–73% – в красной области [4, 9]. Однако стоит подчеркнуть неоднородность полученных результатов, связанную с сорт-специфической реакцией картофеля и необходимость дальнейших исследований роста и развития растений в условиях светокультуры.

Важный этап получения оздоровленного посадочного материала – это культивирование микроклонов картофеля *in vitro*, в связи с чем было проведено исследование влияние света различного спектрального состава на рост и морфогенез проростков картофеля.

Методика исследований. Работа проводилась на базе Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук и лаборатории микробных и клеточных биотехнологий Пермского государственного научно-исследовательского университета.

Для анализа были выбраны 22 сорта картофеля из фонда ПНИИСХ, включающие 7 раннеспелых (Жуковский ранний, Лига, Нора, Ранняя роза, Ред скарлетт, Розалинд, Удача), 5 среднеранних (Архидея, Невский, Одиссей, Памяти Осиповой, Радонежский), 6 среднеспелых (Ладожский, Лазарь, Луговской, Пранса, Скарб, Спиридон) и 1 среднепоздний сорт (Симфония).

Микроклональное размножение пробирочных

растений осуществляли с помощью черенкования на агариованной питательной среде Мурасиге-Скуга. Далее пробирки помещали в фитотрон, где черенки культивировали при температуре 22–25 °C в условиях 16-часового фотопериода.

Источниками освещения служили светодиодные облучатели ECOLED-BIO-195W-D120 FMatrixIP66, ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED и 3-ECOLED-60-LX Fito IP65 (ООО «СЭТ») (рис. 1). Характеристику светового потока получали на расстоянии 30 см от источника излучения при помощи ручного спектрометра UPRtek MK350S (табл. 1).

Для эксперимента отбирали по 10 клонов каждого сорта. Через 27 сут. культивирования измеряли ростовые показатели: длину корней, высоту растений и количество междуузлий.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Statistica 10 («Statsoft Inc», США). Во всех случаях наименьшую существенную разницу (НСР) рассчитывали для уровня значимости 0,05. В таблицах приведены доверительные интервалы для средних арифметических значений признаков, на графиках приведены средние значения со стандартной ошибкой среднего.

Результаты исследований. В ходе работ были получены следующие результаты (табл. 2). Наиболее интенсивный рост был характерен для микроклонов, облучаемых светильниками ECOLED-60-LX Fito IP65, высота растений данной группы выше высоты микроклонов, облучаемых лампами UniversalLED и FMatrixIP66 на 7,2 и 9,8 % соответственно (ANOVA, $p < 0,05$). Облучение микроклонов светильниками ECOLED-60-LX Fito IP65 способствовало интенсификации корнеобразовательных процессов и формированию междуузлий. Так, наблюдался значительный прирост длины корней, по сравнению с лампами UniversalLED и FMatrix IP66 на 26,5 и 20,4 % соответственно (ANOVA, $p < 0,05$). Также, растения облучаемые ECOLED-60-LX Fito IP65 в среднем обладали большим числом междуузлий по сравнению с регенератами, выращенными под лампами UniversalLED и FMatrix IP66 на 0,7 и 0,8 соответственно (ANOVA, $p < 0,05$).

Нам не удалось обнаружить статистически значимых отличий между показателями высоты растений,

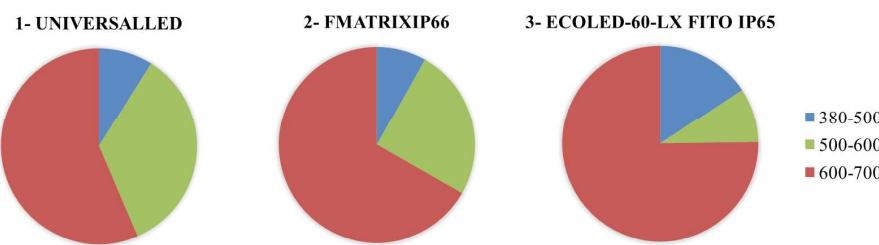


Рис. 1. Соотношение световых потоков используемых светильников, нм

Таблица 1

Результаты расчета фотосинтетического потока фотонов используемых светильников

Фотосинтетический поток фотон в диапазоне	Значение характеристики, мкмоль/м ² ·с			Доля от общего излучения, %		
	1	2	3	1	2	3
Номер светильника	1	2	3	1	2	3
380–500 нм (синий)	9,41	16,25	26,23	8,92	8,15	15,7
500–600 нм (зеленый)	36,53	49,96	15,12	34,62	25,08	9,06
600–700 нм (красный)	59,56	132,98	125,47	56,45	66,76	75,21
Общий поток в диапазоне 380–800 нм	105,51	199,19	166,82	–	–	–

Примечания: 1 – UniversalLED, 2 – FMatrixIP66, 3 – ECOLED-60-LX Fito IP65; здесь и далее.



Характеристики микроклонов на 27-й день культивирования под различными источниками освещения

Номер светильника	1	2	3
Высота растений, мм	$85,6 \pm 3,6$	$83,6 \pm 3,6$	$91,8 \pm 3,3$
Длина корней, мм	$19,6 \pm 1,2$	$20,6 \pm 1,1$	$24,8 \pm 1,2$
Количество междуузлий	$7,9 \pm 0,3$	$7,8 \pm 0,3$	$8,6 \pm 0,3$

длины корней и количеством междуузлий среди групп растений, облучаемых светильниками UniversalLED и FMatrixIP66, что, несмотря на различный спектральный состав и интенсивность облучения, делает их схожими источниками ФАР для растений.

Несмотря на то, что многие авторы демонстрируют в своих работах положительный эффект красного спектра на процессы роста и образования корней у микроклонов [2, 7, 10], данный эффект может быть в значительной степени лимитирован недостаточной интенсивностью облучения в области синего спектра. Синяя область спектра, как отмечают в некоторых работах, способна ингибировать растяжение междуузлий [10], однако в нашей работе были выявлены стимулирующие свойства синего света на ростовые процессы картофеля *in vitro*. Полученные нами данные согласуются с результатами [3], в которых сухая масса микроклонов картофеля, выросших в режиме досветки на синем свету,

достоверно превышала этот показатель в вариантах на красном свете, а также исследованиями культивирования картофеля на гидропонных установках [8], в которых синяя досветка позволила значительно увеличить активность ростовых процессов. Это обращает внимание на важность данного спектра для поддержания высокой скорости роста и развития растений.

Многие исследователи отмечают неоднородность получаемых результатов при изучении процессов роста растений в условиях светокультуры, что объясняют специфической реакцией различных видов и сортов растений на спектральный состав света [6, 14, 16]. Нами впервые были получены данные о влиянии света на многочисленную выборку сортов картофеля, демонстрирующие значительные различия в физиологическом ответе растений на условия освещения (рис. 2).

Светильник ECOLED-60-LX Fito IP65 оказался оптимальным источником света для 54 % (12/22) сортов картофеля, наибольший эффект увеличения высоты растений наблюдался у микроклонов сортов Удача, Нора, Невский и Ред скарлет. Растения сортов Симфония и Луговской продемонстрировали наилучший рост при использовании светильников FMatrixIP66, Ранняя роза и Жуковский ранний – при освещении UniversalLED, для остальных сортов не было выявлено значимых отличий в показателях роста. Освещение с использованием ECOLED-60-LX

Fito IP65 так же оказалось оптимальным для процесса корнеобразования 86 % (19/22) исследуемых сортов, оказывая наибольший положительный эффект на сорта Ред скарлет, Невский, Праиса и Скарб. Данный источник света стимулировал формирование междуузлий у 45 % сортов (10/22) растений, в особенности у сортов Спиридон, Удача, Луговской, Скарб, Памяти Осиповой, Ред скарлет и Невский. Микроклоны сортов Ладожский и Розалинд формировали большее число междуузлий при росте под лампами FMatrixIP66, для остальных сортов значимых различий обнаружено не было.

Заключение. Эффективность вегетативного размножения безвирусного посадочного материала картофеля *in vitro* определяется интенсивностью роста и образованием междуузлий у микроклонов. В этом отношении светильник ECOLED-60-LX Fito IP65 является оптимальным источником фотосинтетически активной радиации для растений среди изученных светильников, оказывая стимулирующее влияние на процессы роста, формирования корней и междуузлий у регенераторов картофеля. Было выявлено, что зеленый свет оказывает слабое влияние на

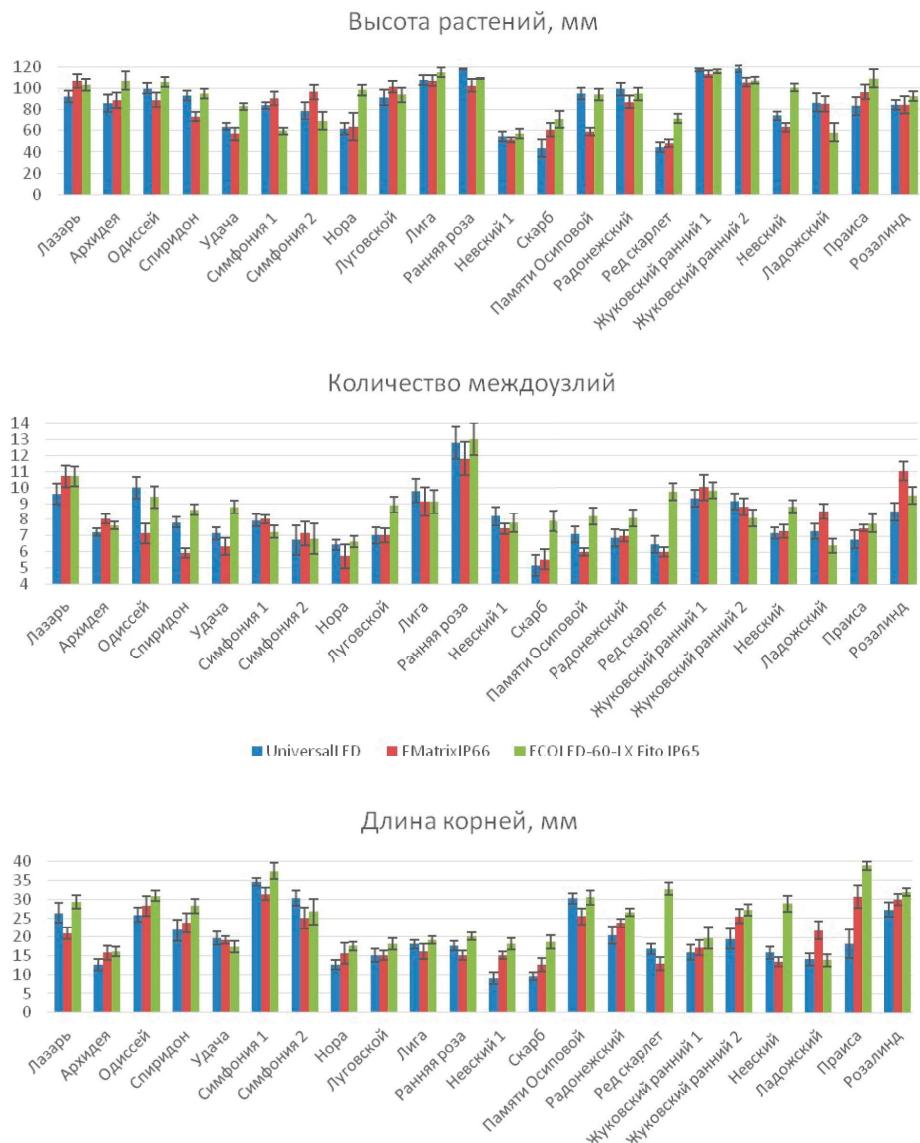


Рис. 2. Влияние света различного спектрального состава на морфологические характеристики картофеля *in vitro*



регулирование процессов роста и развития растений картофеля, в связи с этим нецелесообразно использование светильников с интенсивностью потока более 15 мкмоль/м²·с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варушкина А.М., Луговская Н.П., Максимов А.Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum L.*) в условиях светокультуры // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2019. – № 2. – С. 37–46.
 2. Гранкова Л.И., Савина О.В. Выращивание пробирочных растений картофеля с использованием некогерентного красного света // Научно-практические аспекты инновационных технологий возделывания и переработки картофеля / ФГБОУ ВПО РГАТУ. – Рязань, 2015. – С. 62–66.
 3. Дорофеев В.Ю., Медведева Ю.В., Карначук Р.А. Селективный свет и продуктивность растений картофеля в условиях *in vitro* и гидропонного культивирования // Актуальные проблемы картофелеводства: фундаментальные и прикладные аспекты. – Томск, 2018. – С. 215–218.
 4. Коновалова И.О. Определение оптимальных параметров светодиодного освещения листовых овощных культур применительно к витаминной космической оранжереи: дисс. ... канд. биол. наук / Коновалова И.О. – М., 2016. – 177 с.
 5. Медведев С.С. Физиология растений. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – С. 36.
 6. Никонович Т.В., Шпак М.Ю., Левый А.В. Влияние спектрального состава света на морфофизиологические реакции растений-регенерантов *Solanum tuberosum* в условиях культуры *in vitro* // Редакционная коллегия. – 2014. – Т. 18. – С. 183–190.
 7. Оптимизация условий освещения при культивировании микроклонов *Solanum tuberosum L.* сорта Луговской *in vitro* / И.Ф. Головацкая [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 4(24). – С. 133–144.
 8. Особенности светового режима гидропонного культивирования оздоровленных растений картофеля немато-доустойчивого сорта Фреско для высокопродуктивного выхода мини клубней / В.Ф. Дорофеев [и др.] // Современная микробиология и биотехнология глазами молодых исследователей: материалы всероссийской научной конференции. – Томск, 2014. – С. 8–11.
 9. Протасова Н.Н. Светокультура как способ выявления потенциальной продуктивности растений // Физиология растений. – 1987. – Т. 34. – №. 4. – С. 812–822.
 10. Роль селективного света в морфогенезе микроклонов *Solanum tuberosum L.* сорта Накра *in vitro* / В.А. Никиткин [и др.] // Биотехнология, биоинформатика и геномика растений и микроорганизмов. – Томск, 2016. – С. 72–75.
 11. Технологический процесс производства оригинального, элитного и репродукционного семенного картофеля: практическое руководство / А.М. Малько [и др.]; под ред. А.М. Малько, Б.В. Анисимова. – М., 2017. – 64 с.
- Варушкина Александра Михайловна**, младший научный сотрудник, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. Россия.
- Яхина Азалия Ильдаровна**, младший научный сотрудник, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. Россия.
- Ширинкина Алиса Сергеевна**, младший научный сотрудник, Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук. Россия.
- 614900, г. Пермь, ул. Ленина, 13А.
Тел.: 89655711133, e-mail: shirinkina.ali@yandex.ru .
- Цёма Любовь Геннадьевна**, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ПФИЦ УрО РАН. Россия.
- Латыпова Анна Леонидовна**, научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ПФИЦ УрО РАН. Россия.
- 614532, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, 12.
Тел.: 89194584080; e-mail: ann.latypowa@yandex.ru.
- Ключевые слова:** картофель; *Solanum tuberosum L.*; микроклональное размножение; фотосинтез; светодиодные излучатели; LED-светильники; спектральный состав света.

THE INFLUENCE OF LIGHTING SPECTRAL COMPOSITION ON PHYSIOLOGICAL RESPONSE OF POTATO IN VITRO

Varushkina Alexandra Mikhailovna, Junior Researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

Yakhina Azalia Ildarovna, Junior Researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

Shirinkina Alisa Sergeevna, Junior Researcher, Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia.

Tsoma Lybov Gennadievna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Perm Agricultural Research Institute, Russia.

Latypova Anna Leonidovna, Researcher, Perm Agricultural Research Institute, Russia.

Keywords: potato; *Solanum tuberosum L.*; photosynthesis; microclonal propagation; light-emitting diode irradiators; LED-lamps; light spectral composition.

The microclonal (*in vitro*) propagation of the original potato plants is important stage in the cultivation of high-quality seed potato. The appropriate microclimate parameters (illumination, tem-

perature, air humidity) are to be maintained in phytotrons for optimal clones' growth. It is necessary to consider the specific response of potato varieties and, according to it, carefully select the lighting spectral composition. The purpose of the work was to study the effect of various light sources on the morphological parameters of 22 varieties of potato microplants. 10 clones of every variety were selected for the experiment after the initial multi-varietal analysis. After 27 days of cultivation, growth parameters were measured: root length, plant height and the number of internodes. The light sources were light-emitting diode (LED) irradiators ECOLED-BIO-195W-D120 FMatrix IP66, ECOLED-BIO-112-185W-D120 UniversalLED, and 3-ECOLED-60-LX Fito IP65 ("SET" ltd). For the first time, data on the lighting effect on a large sample of potato varieties were obtained, demonstrating significant differences in the physiological response of plants to lighting conditions. According to the research results, it was shown that ECOLED-60-LX Fito IP65 was the optimal source of photosynthetically active radiation for plants among the studied LED-lamps, providing a positive effect on the growth parameters of potato plants, including plants height, length of roots and internodes amount.

12. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы // Новосибирск, 2000. – 213 с.

13. Удобрения как эффективный прием повышения устойчивости картофеля к болезням в условиях степного Поволжья / А.А. Моисеев [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 4. – С. 31–36.

14. Федорова Ю.Н., Лебедева Н.В. Влияние света разного спектрального состава на рост растений картофеля *in vitro* // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 4. – С. 2–7.

15. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения / Ю.Ц. Мартirosyan [и др.] // Сельскохозяйственная биология. – 2013. – № 1. – С. 107–112.

16. Янчевская Т.Г., Ковалева О.А. Стимулирование морфообразовательных процессов в меристемных растениях картофеля (фела.) под действием ультрафиолетового облучения В-диапазона // Физиология растений и генетика. – 2015. – Т. 47. – № 4. – С. 287–295.

17. Emerson R., Chalmers R., Cederstrand C. Some factors influencing the long-wave limit of photosynthesis // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 1957, Vol. 43, No 1, P. 133.

18. Son K.H., Oh M.M. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes // HortScience, 2013, Vol. 48, No 8, P. 988–995.

