

Эффективность микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок

Надежда Петровна Кондратьева¹, доктор технических наук, e-mail: aep_isha@mail.ru;
Роман Игоревич Корепанов¹, аспирант;
Ильнур Равилевич Ильясов¹, аспирант;
Роман Геннадьевич Большин¹, кандидат технических наук, преподаватель;

Мария Геннадьевна Краснолуцкая¹, преподаватель;
Елена Николаевна Сомова², старший научный сотрудник;
Марина Геннадьевна Маркова², научный сотрудник

¹Ижевская государственная сельскохозяйственная академия, г. Ижевск, Российская Федерация

²Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Ижевск, Российская Федерация

На продуктивность сельскохозяйственных культур существенно влияет доза оптического излучения. Так, южные культуры не успевают вызревать в условиях умеренного климата по причине уменьшения светового дня. Для защищенного грунта из-за низкой облученности и короткой продолжительности светового дня в осенне-зимние месяцы выращивание полноценных растений возможно только с применением источников искусственного излучения. Применение светодиодных (LED) фитоустановок позволяет смоделировать спектр любой географической зоны и с помощью микропроцессорных систем автоматического управления установить требуемую дозу оптического излучения. (*Цель исследования*) Обосновать на примере меристемных растений винограда эффективность применения светодиодной фитоустановки и ее влияние на прирост площади листовой поверхности; разработать разноцветные светодиодные фитоустановки; предложить новые технические решения для повышения эффективности микропроцессорной системы автоматического управления работой LED-фитоустановок. (*Материалы и методы*) Провели эксперименты на меристемных растениях винограда сорта РФ-48 (in vitro) на этапах их укоренения и адаптации. Для получения результатов использовали оборудование: светодиодный фитооблучатель с меняющимся спектром с помощью микропроцессорной системы управления, «мигающий» светодиодный фитооблучатель, разноцветный фитооблучатель с добавлением УФ-светодиодов. Создали на базе микроконтроллера Arduino uno микропроцессорную систему дозирования спектральных составляющих зоны ФАР для автоматического управления работой LED-фитоустановки. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что светодиодный облучатель с меняющимся спектральным составом, в сравнении с люминесцентным облучателем, на этапе укоренения микропобегов винограда способствует существенному увеличению площади листовой поверхности микропобегов при 100-процентном укоренении побегов. Мигающий фитооблучатель и фитооблучатель с УФ-светодиодами, в сравнении с люминесцентным, на этапе адаптации микропобегов винограда способствовали увеличению площади листовой поверхности растений, но незначительно. (*Выводы*) Подтверждена необходимость дальнейшего повышения эффективности микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок. **Ключевые слова:** светодиодные фитоустановки, растения in vitro, микропроцессорная система управления, светодиодные ленты .

■ **Для цитирования:** Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Сомова Е.Н., Маркова М.Г. Эффективность микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №3. С. 32-37. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-32-37

The Efficiency of Automated Control Microprocessor Systems for LED Irradiation Installations

Nadezhda P. Kondratieva¹, Dr.Sc. (Eng), Professor, Head of the Department, , email: aep_isha@mail.ru;
Roman I. Korepanov¹, Postgraduate Student;
Ilnur R. Ilyasov¹, Postgraduate Student;

Roman G. Bolshin¹, Ph.D. (Eng), High School Teacher;
Maria G. Krasnolutsckaya¹, High School Teacher;
Yelena N. Somova², Senior Research Associate;
Marina G. Markova², Research Associate

¹Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russian Federation

²Udmurt Scientific Research Institute for Agriculture, Izhevsk, Russian Federation

Abstract. Crop productivity is significantly affected by the dose of optical radiation. In particular, southern crops do not have enough time to ripen in a temperate climate because of decreased daylight duration. In conditions of protected soil due to low irradiance and a short daylight duration in autumn-winter months, the cultivation of fully developed plants is possible only with the use of artificial radiation sources. The use of LED phytoinstallations with the help of microprocessor-based automatic control systems allows obtaining the required dose of optical radiation. (*Purpose of research*) To substantiate, as exemplified by meristematic grape plants, the effectiveness of LED phytoinstallations and their impact on the increase in the leaf surface area; to develop multicolored LED phytoinstallations; to offer new technical solutions to improve the efficiency of the microprocessor system of automatic control of LED phytoinstallations. (*Materials and methods*) the authors have carried out experiments with meristematic grape plants of RF48 variety (in vitro) at the stages of their rooting and adaptation. The following equipment has been used: LED phytoirradiator with a changing spectrum using a microprocessor control system, “blinking” led phytoirradiator, multicolored phytoirradiator with the addition of UV LEDs. The authors have developed on the basis of microcontroller Arduino uno a microprocessor dispensing system of the spectral components of the areas of the photosynthetically active radiation to automatically control the operation of LEDbased phytoinstallations. (*Results and discussion*) it has been shown that a LED irradiator with a changing spectral composition, as compared to a luminescent irradiator, at the stage of rooting of grape microsprouts contributes to a significant increase in the leaf surface area of microplants at 100 percent rooting of sprouts. The blinking phytoirradiator and the UVLED phytoirradiator, as compared to the fluorescent ones, contributed to an insignificant increase in leaf area of plants at the adaptation stage of grape microplants. (*Conclusions*) The authors have confirmed the need to further improve the efficiency of the microprocessorbased automatic control system of LED irradiation installations.

Keywords: LED phytoinstallations, Plants in vitro, Microprocessor control system, LED strips.

■ For citation: Kondratieva N.P., Korepanov R.I., Ilyasov I.R., Bolshin R.G., Krasnolutsкая M.G., Somova E.N., Markova M.G. The efficiency of automated control microprocessor systems for the LED irradiation installations. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny iologii*. 2018; 12(3): 32-37. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-3-32-37. (In Russian)

На продуктивность сельскохозяйственных культур существенно влияет доза оптического излучения. Например, южные культуры не успевают вызреть в условиях умеренного климата ввиду того, что продолжительность светового дня и угол высоты солнца уменьшаются.

Применение разноцветных светодиодов, или RGB-светодиодов, позволяет смоделировать спектр любой географической зоны, а использование микропроцессорных систем автоматического управления работой этих установок позволяет реализовать требуемую дозу оптического излучения. Часть оптического диапазона, активно используемая растениями, называется фотосинтетически активной радиацией (ФАР). ФАР имеет особую значимость в условиях защищенного грунта, где из-за низкой облученности и короткой продолжительности светового дня в осенне-зимние месяцы выращивание полноценных растений возможно только с применением источников искусственного излучения. Грамотно управляя светодиодами (LED) фитоустановками с помощью микропроцессорных систем автоматического управления, можно получать требуемую дозу спектральной составляющей зоны ФАР.

Особое значение светодиодное освещение имеет для растений, *in vitro*, питание которых не пол-

ностью автотрофно. Так выращивают меристемные растения. Меристема – растительная ткань, обладающая способностью к интенсивному делению клеток [1-5]. Одной из современных форм совершенствования питомниководства стало клональное микроразмножение растений. Этот метод позволяет не только обеспечить высокий коэффициент мультипликации, но и провести оздоровление посадочного материала от вредителей и ряда патогенов. Традиционно работы по повышению эффективности микроразмножения растений сводятся к оптимизации состава питательной среды и условий культивирования. Однако стимулирование морфофизиологических процессов у растений возможно путем использования фиторегуляторных методов [1, 2].

Многочисленные исследования свидетельствуют о положительном влиянии светодиодного освещения на сельскохозяйственные культуры. Особенность облучателей, сконструированных на светодиодах, состоит в том, что спектральный состав их световых потоков в наибольшей степени соответствует ФАР [6-9]. Актуальность работы обусловлена необходимостью совершенствования методов клонального микроразмножения растений и создания энергосберегающих технологий их культивирования.

Цель исследований – повышение эффективности микропроцессорной системы автоматического управления работой различных светодиодных облучательных установок и изучение их влияния на прирост площади листовой поверхности меристемных растений винограда.



Рис. 1. Общий вид меристемных растений культуры винограда

Fig. 1. General view of meristem plants of grape culture

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- разработать различные разноцветные светодиодные фитоустановки;
- провести эксперименты на меристемных растениях винограда;
- предложить новые технические решения для повышения эффективности микропроцессорной системы автоматического управления работой LED-фитоустановок.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Эксперименты проводили в меристемной лаборатории Удмуртского НИИСХ. Для исследований использовали культивируемые *in vitro* растения винограда сорта РФ-48 на этапах укоренения и адаптации (рис. 1).

Укоренение микрорастений *in vitro* проводили в светокмате лаборатории на питательной среде по прописи Мурасиге-Скуга с добавлением индолилмасляной кислоты (ИМК) в дозе 0,5 мг/л при про-

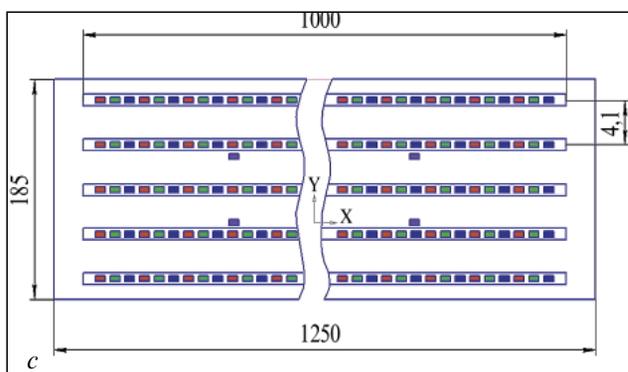


Рис. 2. LED-фитоустановка: а, б – общий вид; с – схема с УФ-светодиодами и ее габаритами, мм

Fig. 2. LED-phyto-installation: a, b – general view; c – scheme with UV LEDs and its dimensions, mm

должительности светового дня 16 ч и температуре воздуха 23-25°C. Адаптация меристемных растений проходила в тех же условиях в контейнерах объемом 0,5 л с грунтом на основе верхового торфа.

Для облучения использовали:

- светодиодный фитооблучатель с меняющимся спектром с помощью микропроцессорной системы управления (рис. 2);
- «мигающий» светодиодный фитооблучатель, который светил 0,5 с, затем была темновая пауза 1,0 с; это мигание продолжалось 30 с, затем следовало непрерывное облучение в течение 15 с;
- разноцветный фитооблучатель с добавлением УФ-светодиодов (рис. 2);
- контроль – люминесцентный облучатель с лампой ЛБ.

Параметры LED-фитооблучателей приведены в таблице.

Для автоматического управления работой LED-фитоустановки на базе микроконтроллера Arduino Uno создана микропроцессорная система дозирования спектральных составляющих зоны ФАР (рис. 3).

Принцип работы системы автоматического

Table		Таблица
ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ LED-ФИТООБЛУЧАТЕЛЯ TECHNICAL CHARACTERISTICS OF LED-PHYTO-RADIATOR		
Параметры Parameters	Светодиодный фитооблучатель LED-phyto-radiator	ЛПО 2×18 (контроль) LPO 2×18 (control)
Рабочее напряжение, В Operating voltage, V	12,4	220
Потребляемая мощность, Вт Power consumption, W	29,76	36
Освещенность, лк Illumination, lx	2200	1400



Рис. 3. Плата Arduino Uno
Fig. 3. Arduino Uno Board



управления работой светодиодных фитооблучателей описан в литературе [11-16].

В программе управления предусмотрены клавиши для добавления выращиваемых культур, а также учтены условия их выращивания.

В каждом варианте опыта использовали по 10 меристемных растений. Учитывали площадь листовой поверхности через каждые 5 сут. после начала облучения. Оценку корневой системы микрорастений провели в конце этапа по методике (ОСТ 10069 95).

Этап укоренения микропобегов винограда составил 25 сут., этап адаптации – 20 сут. Работы по микроклональному размножению проводили согласно «Технологии производства безвирусного посадочного материала плодовых, ягодных культур и винограда».

Этап укоренения завершает процесс культивирования растений *in vitro*. К концу этапа сказывается качество листового аппарата и корневой системы микрорастения. Для успешного перевода из стерильных условий в нестерильные (адаптации) дисбаланс между побегом и его корневой системой недопустим.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ. Светодиодный облучатель с меняющимся спектром оказал положительное влияние как на площадь листовой поверхности микрорастений винограда, так и на их корневую систему (рис. 4). Наибольший эффект полу-

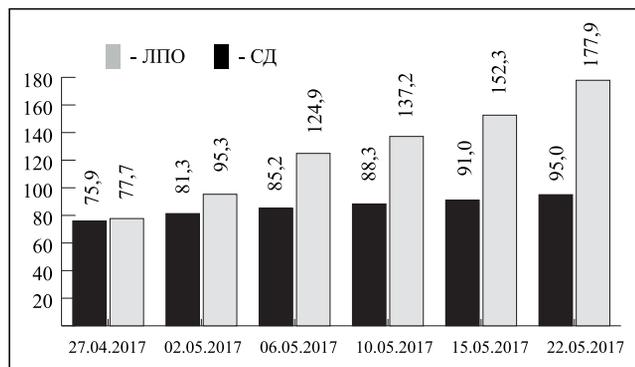


Рис. 4. Влияние освещения на динамику роста площади листовой поверхности микрорастений культуры винограда, мм²
Fig. 4. The impact of lighting on the growth dynamics of leaf area of grape culture micro plants, mm²

чен на листовом аппарате микрорастений винограда. В сравнении с традиционным люминесцентным облучателем, заметное, но незначительное увеличение площади листовой поверхности (14,0 мм²) отмечено уже на пятые сутки этапа укоренения. Начиная с 10-суточного срока и до конца этапа укоренения данный прирост статистически достоверен и составляет 39,7 мм², 48,9 мм², 61,3 мм², 82,9 мм² соответственно. Укоренение микропобегов винограда к концу этапа достигло 100% независимо от освещения. Но более развитую корневую систему име-

ли микрорастения, облучаемые светодиодной установкой. Все микрорастения винограда к концу этапа укоренения соответствовали ОСТ 10069-95.

Перевод растений из стерильных условий культивирования в нестерильные – наиболее критический этап клонального микроразмножения. К факторам, влияющим на жизнеспособность микрорастений в период адаптации, относятся: тип субстрата, влажность воздуха, освещение, инфекционная нагрузка и другое. Именно на этом этапе можно потерять огромное количество уже размноженного материала.

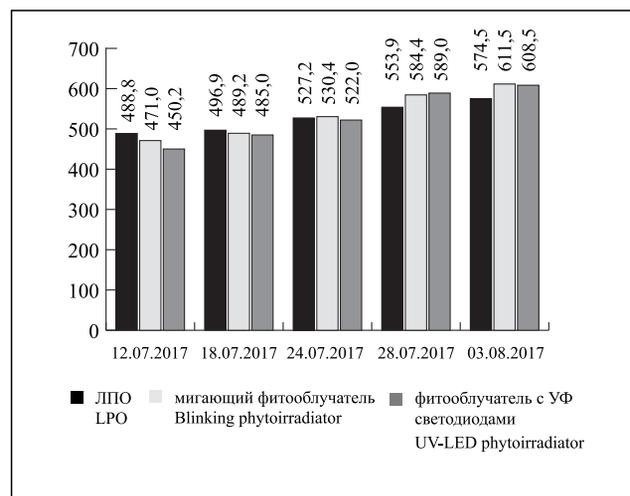


Рис. 5. Влияние освещения на динамику роста площади листовой поверхности адаптированных микрорастений культур винограда, мм²
Fig. 5. The impact of lighting on the growth dynamics of leaf area of adapted grape culture micro plants, mm²

Адаптированные меристемные растения высаживают на доращивание в открытый грунт питомника. Хорошо развитый листовый аппарат не только позволяет растениям хорошо прижиться, но и гарантированно способствует получению стандартного посадочного материала к концу сезона.

По итогам первых двух пятидневок адаптации облучение меристемных растений винограда све-

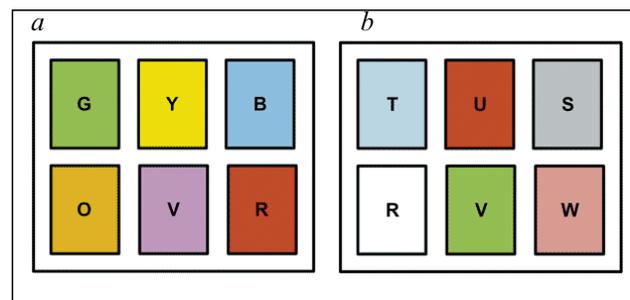


Рис. 6. Фотодиодная сборка анализаторов спектра: a – AS7262; b – AS7263
Fig. 6. Photodiode spectrum analyzers assembly: a – AS7262; b – AS7263

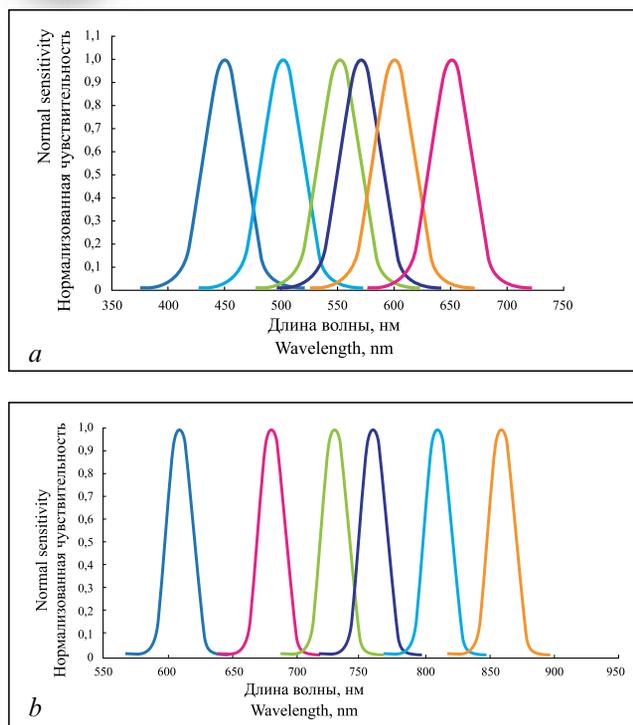


Рис. 7. Спектральная чувствительность анализаторов:

a – AS7262; b – AS7263

Fig. 7. The spectral sensitivity of the analyzers:

a – AS7262; b – AS7263

тодиодными установками, в сравнении с люминесцентным облучателем, не имело существенного положительного влияния: площадь листовой поверхности не увеличивалась, оставаясь на уровне контрольных значений (рис. 5). По измерениям на 15-е и 20-е сут. адаптации обе светодиодные установки способствовали, в сравнении с контролем, увеличению площади листьев винограда, но недостоверно. К концу этапа 100% растений винограда соответствовали ОСТ 10069-95.

Для получения точной дозы ФАР необходимо в микропроцессорную систему автоматического управления добавить анализаторы спектра, с помощью которых можно анализировать и изменять спектр LED-фитоустановок в реальном времени.

Для решения этой задачи была найдена информация о 6-канальных интегральных анализаторах спектра AS7262 и AS7263. Микросхема AS7262 предназначена для работы с видимой частью спек-

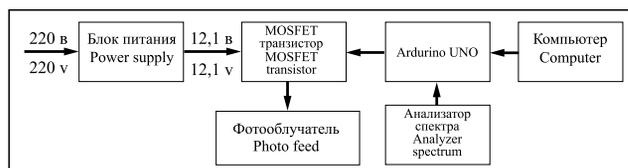


Рис. 8. Блок-схема управления LED-фитоустановкой

Fig. 8. The block diagram of the LED-phyto-installation control

тра (450-650 нм), а AS7263 – с инфракрасным диапазоном (610-860 нм).

Ключевым элементом AS7262 и AS7263 являются фотодиодные сборки (рис. 6). В обоих случаях они представляют собой матрицы из шести фотодиодов с узким спектром чувствительности.

Микросхема анализатора спектра AS7262 предназначена для работы с видимой частью света (рис. 7). Ее фотодиоды имеют селективную чувствительность 450/500/550/570/600/650 нм при ширине спектра 40 нм. Как видно, их пиковые частоты разнесены на 50 нм (за исключением 570 нм оранжевый цвет). Микросхема AS7263 предназначена для анализа ближней части инфракрасного диапазона. Его фотодиоды работают с частотами 610/680/730/760/810/860 нм с шириной спектра чувствительности 20 нм (рис. 6). Для создания микропроцессорной системы автоматического управления светодиодной фитоустановкой разработана блок-схема (рис. 8).

Выводы

1. Светодиодный облучатель с меняющимся спектральным составом, в сравнении с люминесцентным облучателем, на этапе укоренения микропобегов винограда способствует существенному увеличению площади листовой поверхности микро-растений, при этом их укоренение составляло 100%;

2. Мигающий фитооблучатель и фитооблучатель с УФ-светодиодами, в сравнении с люминесцентным, на этапе адаптации микро-растений винограда способствовали увеличению площади листовой поверхности растений, но несущественно и лишь со второй половины этапа.

3. Положительные результаты экспериментов подтвердили необходимость дальнейшего повышения эффективности микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пронина И.Н., Матушкина О.В. Экономические аспекты использования клонального микро-размножения в системе производства посадочного материала плодовых и ягодных культур // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2011. Т.26. С. 82-88.
2. Маркова М.Г. Сомова Е.Н. Приемы повышения укореняемости микропобегов земляники садовой в грунте

NVITRO // *Вестник Марийского государственного университета*. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2017. Т. 3. N2 (10). С. 34-39.

3. Тертышная Ю.В. Левина Н.С. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N5. С. 24-29.



4. Тертышная Ю.В. Левина Н.С., Елизарова О.В. Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 31-36.

5. Мартиросян Ю.Ц., Полякова М.Н., Диловарова Т.А., Кособрюхов А.А. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения // *Сельскохозяйственная биология*. 2013. N1. С. 107-112.

6. Большин Р.Г., Ильясов И.Р., Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Краснолуцкая М.Г., Литвинова В.М., Филатова О.М. Разработка микропроцессорной системы дозирования фотосинтетически активной радиации // *Вестник НГИЭИ*. 2017. N9 (76). С. 46-56.

7. Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г. Энергоэффективное энергосберегающие светодиодные облучательные установки // *Вестник ВИЭСХ*. 2016. N3 (24). С. 48-53.

8. Ильясов И.Р. Повышение эффективности дозирования ФАР (фотосинтетически активной радиации) // *Научные труды студентов Ижевской ГСХА ФГБОУ ВО «Ижевская государственная сельскохозяйственная ака-*

демия». Ижевск, 2017. С. 212-213.

9. Кондратьева Н.Т., Владыкин И.Р., Баранова И.А., Большин Р.Г. Краснолуцкая М.Г., Энергосберегающие электро-технологии и электрооборудование в сельском хозяйстве // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N4(19). С. 11-16.

10. Сомова Е.Н., Кондратьева Н.П., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Литвинова В.М. Результаты опытов по дозированию фотосинтетически активной радиации микропроцессорной системой, управляющей работой LED фитоустановками // *Вестник ВИЭСХ*. 2017. N3 (28). С. 56-64.

11. Ильясов И.Р. Разработка программного обеспечения для реализации режима облучения // *Научные труды студентов Ижевской ГСХА Электронный ресурс*. Ижевская государственная сельскохозяйственная академия. Ижевск, 2017. С. 490-494.

12. Me Cree H.J., Joomis R.S. Photosynthesis in fluctuating light. *Ecology*, 1969. V. 50. N3.

13. Murashige T. Plant tissue an cell culture application to crop improvement. *Prauge: Czechosl. Acad. Sci.*, 1984. 23-32.

REFERENCE

1. Pronina I.N., Matushkina O.V. Economic aspects of the use of clonal micropropagation in the production system of planting material of fruit and berry crops // *Fruit growing and gourd cultivation of Russia*. 2011; 26: 82-88.

2. Markova M.G., Somova E.N. Techniques to increase the rooting microgrooves of wild strawberry in the ground NVITRO // *Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural sciences. Economic sciences*. 2017; 2 (10): 34-39.

3. Tertyshnaya Yu.V. Levina N.S. Vliyaniye spektral'nogo sostava sveta na razvitiye sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Influence of spectral composition of light on development of agricultural crops] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N5: 24-29.

4. Tertyshnaya Yu.V. Levina N.S., Yelizarova O.V. Vozdeystviye ul'trafiioletovogo izlucheniya na vskhozhest' i rostovyye protsessy semyan pshenitsy [Influence of ultraviolet radiation on the germination and growth processes of wheat seeds] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N2: 31-36.

5. Martirosyan Yu.Ts., Polyakova M.N., Dilovarova T.A., Kosobryukhov A.A. Fotosintez i produktivnost' rasteniy kartofelya v usloviyakh razlichnogo spektral'nogo oblucheniya [Photosynthesis and the potato productivity under different spectral irradiation] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2013. N1: 107-112.

6. Bolshin R.G., Ilyasov I.R., Kondratieva N.P., Korepanov R.I., Krasnolutsкая M.G., Litvinova V.M., Filatova O.M. Development of a microprocessor dosing system for photosynthetically active radiation // *Bulletin of the NNIII*. 2017; 9: 46-56.

7. Kondratieva N.P., Bolshin R.G., Krasnolutsкая M.G.

Energy-efficient energy-saving LED irradiators // Vestnik VIESH. 2016; 3 (24): 48-53.

8. Il'yasov IR Increase in the effectiveness of dosing of PHAs (photosynthetically active radiation) / Ilyasov IR. // *Scientific works of the students of the Izhevsk State Agricultural Academy of the Federal State Educational Establishment of the Russian Federation «Izhevsk State Agricultural Academy»*. Izhevsk, 2017: 212-213.

9. Kondrat'yeva N.T., Vladikin I.R., Baranova I.A., Bol'shin R.G. Krasnolutsкая M.G., Energoberegayushchiye elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v sel'skom khozyaystve [Energy-saving electrotechnologies and electrical equipment in agriculture] // *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. N4(19): 11-16.

10. Somova E.N., Kondratieva N.P., Bolshin R.G., Krasnolutsкая M.G., Korepanov R.I., Ilyasov I.R., Litvinova V.M. Results of experiments on dosing photosynthetically active radiation by a microprocessor system controlling the operation of LED phyto-plants // *Vestnik VIESH*. 2017; 3 (28): 56-64.

11. Ilyasov I.R. Development of software for the implementation of the irradiation regime // *In the collection: Scientific works of students of the Izhevsk State Agricultural Academy. The electronic resource*. Izhevsk State Agricultural Academy. Izhevsk, 2017: 490-494.

12. Me Cree H.J., Joomis R.S. Photosynthesis in fluctuating light // *Ecology*. 1969; 3: 50.

13. Murashige T. Plant tissue an cell culture application to crop improvement. *Prauge: Czechosl. Acad. Sci.*, 1984: 23-32.

Статья поступила в редакцию 24.11.2017

Статья принята к публикации 07.12.2017

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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