

## Исследование влияния условий технологического светодиодного освещения на рост и продуктивность растений огурца

*О. Е. Железникова, К. А. Чмиль, А. О. Люлёв, Я. А. Калинин*

*Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва*

**Аннотация:** В статье представлены результаты оценки фотобиологической эффективности технологического светодиодного освещения при выращивании растений огурца сорта Святогор *F1* в условиях светокультуры. В эксперименте использовались фитооблучатели (ФО) с натриевыми лампами высокого давления типа ДНаТ (контрольный вариант), а также светодиодные ФО комбинированного спектра. На основе проведенных фотобиологических исследований установлено, что вариант спектра излучения ФО2 (где излучения с  $\lambda = 730$  нм было в 3,1 раза больше, а излучения с  $\lambda = 660$  нм в 1,23 раза меньше, чем в спектре излучения ФО3) оказался более эффективным, обеспечивая не только лучшее качество рассады растений огурца, но и более высокую продуктивность. Показана практическая значимость полученных результатов.

**Ключевые слова:** фитооблучатель, светодиодный источник света, светокультура, фотобиологические исследования, спектр излучения, фотосинтетически активная радиация, фотосинтетическая фотонная облученность, растение огурца.

В настоящее время мировой рынок фитооблучателей (ФО) и ламп для светокультуры растений оценивается в 2, 5 млрд. долларов США (2019 г.) с возможностью роста до 10 млрд. долларов США к 2026 г. Основная тенденция технологического освещения в сооружениях защищенного грунта – это переход от натриевых ламп высокого давления (НЛВД) к светодиодам, так как, несмотря на быстрое развитие светодиодных технологий в тепличных комплексах, в основном используются облучатели с НЛВД. Переход же на светодиодное освещение позволит не только адаптировать спектральную плотность потока излучения и интенсивность облучения под конкретную выращиваемую культуру, но и сократить на 30 – 40 % расход электроэнергии.

Проведенные в последние годы исследования по влиянию искусственного освещения на растения свидетельствуют о том, что квазимонохроматические излучения только в синей и красной областях спектра не полностью раскрывают заложенный в них потенциал.

Светодиодные ФО должны быть разработаны на базе полноспектральных светодиодов с дополнительными максимумами в областях спектра, наиболее эффективно обеспечивающих как протекание фотосинтеза, так и оказывающие морфогенетическое действие.

В исследовательских работах используются как светодиоды, имеющие сплошной спектр, так и их комбинации с квазимонохроматическими красными и красно-синими светодиодами [1, 2], что позволяет обеспечить более высокую продуктивность растений [3 – 5]. Причиной многообразия описанных эффектов является, видимо, многостороннее влияние излучения на сложный фотосенсорный аппарат растений [6, 7]. Сигнальные пути фоторецепторов интегрированы для тонкой настройки фотосинтетического статуса растений, что может обусловить его неоднозначную реакцию на варьирование условий облучения.

Еще одним важным моментом при выборе спектрального состава излучения ФО для тепличных комплексов является учет влияния их излучения на орган зрения человека [8]. Длительное пребывание в условиях освещения современными ФО приводит к тому, что у человека развивается зрительное утомление, наблюдается искаженное восприятие цветоцветовой среды [4].

Целью настоящей работы является оценка фотобиологической эффективности технологического освещения светодиодными ФО комбинированного спектра при выращивании растений огурца по технологии светокультуры.

Для проведения экспериментальных фотобиологических исследований был выбран сорт огурца Святогор *F1* компании «Райк Цваан» (Нидерланды).

Экспериментальные светодиодные ФО были изготовлены АО «Ардатовский светотехнический завод» на базе ФО типа ДСП47 – 200 – 726 Fito S. Конструкция ФО предусматривала 4 – х канальные модули с

---

напаянными светодиодами. Первый канал составляли светодиоды с доминирующей длиной волны  $\lambda = 450$  нм и эффективностью 2,2 мкмоль/Дж, второй – с  $\lambda = 660$  нм и эффективностью 2,9 мкмоль/Дж, третий - с  $\lambda = 730$  нм и эффективностью 2,17 мкмоль/Дж, четвертый – белые светодиоды с цветовой температурой  $T_{\text{цв}} = 5000$  К и общим индексом цветопередачи  $R_a = 70$ . Максимальная мощность ФО - 150 Вт.

Управление спектральными характеристиками излучения ФО осуществлялось через цифровой интерфейс DALI. Настройка панели управления DALI производилась при помощи программы DIGIDIM Toolbox (Helvar). Наличие четырех каналов управления светодиодными ФО позволяло подбирать необходимый для исследований спектральный состав излучения.

Экспериментальная гидропонная установка для проведения фотобиологических исследований подробно описана в [10]. В первом боксе установки использовался ФО с НЛ ВД типа ДНаТ мощностью 400 Вт (контрольный вариант), во втором и третьем - ФО со светодиодами. Спектры излучения ФО представлены на рис. 1 – 3.

В 2021 г. нами проведены 2 полноценные вегетации растений огурца сорта Святогор *F1* при облучении их светодиодными ФО. Соотношение долей синего, зеленого и красного излучений в спектрах светодиодных ФО было следующим: С : З : К = 15 : 30 : 55.

Поскольку нет альтернативы экспериментальному пути при поиске наиболее «предпочтительного» спектрального состава излучения для роста и развития растений огурца в условиях светокультуры, то в 2022 г. фотобиологические исследования были продолжены. Основываясь на результатах [10], доля синего, зеленого и красного излучений в спектрах светодиодных ФО составляла 19 %, 40 % и 41 % соответственно. Отличие в спектрах излучения светодиодных ФО во втором и третьем боксах

---

заключалось в разном соотношении излучений с  $\lambda = 660$  нм и  $\lambda = 730$  нм в красной области спектра. В спектре ФО2 излучения с  $\lambda = 730$  нм было в 3,1 раза больше, а излучения с  $\lambda = 660$  нм в 1,23 раза меньше, чем в спектре ФО3.

Облученность  $E_{PPFD}$  измерялась спектрометром МК 350S компании UPRtek (Тайвань). Ее уровень над верхушками растений составлял  $E_{PPFD} = 250 \pm 10$  мкмоль/с· м<sup>2</sup>. Неравномерность распределения  $E_{PPFD}$  технологической зоны, площадь которой во всех боксах экспериментальной гидропонной установки – 0,91 м<sup>2</sup>, не превышала  $\pm 10$  % от среднего значения. Растения огурца выращивали на минеральной вате по технологии подтопления. До появления всходов температура субстрата поддерживалась на уровне 24 – 28°C, воздуха в лаборатории – 27 – 28°C. После появления 10 - 15 % всходов досвечивание осуществляли в течение 3 суток при температуре воздуха 23 – 25°C. Фотопериод до расстановки рассады составлял 24 ч. Перед высадкой рассады маты были напитаны рабочим раствором. Минераловатные кубики выставляли на маты в предварительно нарезанные отверстия по 8 кубиков в каждый бокс.

Фотопериод после высадки рассады составлял 20 ч. Влажность воздуха – 70 – 85 %, влажность кубиков – 60 – 80 % *НВ*.

В состав питательного раствора входили следующие минеральные удобрения:  $Ca(NO_3)_2$ ,  $NH_4NO_3$ ,  $KH_2PO_4$ ,  $K_2SO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $KNO_3$ , *Fertika*.

По достижению рассадой огурца возраста 15 суток были начаты регулярные измерения ее биометрических показателей, которые осуществлялись каждые 5 суток. Индекс содержания хлорофилла (CCI, %) в листьях растений огурца измеряли нитратомером ССМ-200 (США).

Анализ результатов измерения высоты растений позволил констатировать следующее: на 15 – е сутки наиболее высокими оказались растения огурца под ФО2, в среднем выше на 56,9 %, чем под ФО1 и на 54,8 % чем под ФО3. На 50 - е сутки «преимущество» облучения ФО2

---

сохранилось: рассада огурца под Ф01 отставала в росте на 53,9 %, под Ф03 – на 57,5 %.

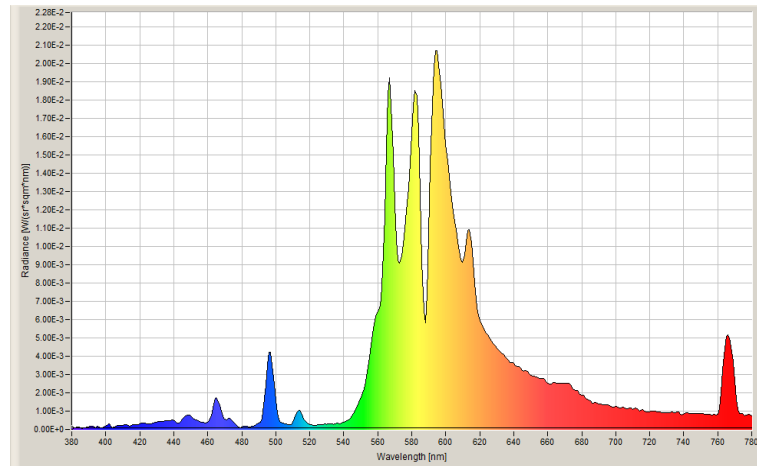


Рис.1. – Спектральный состав излучения Ф01

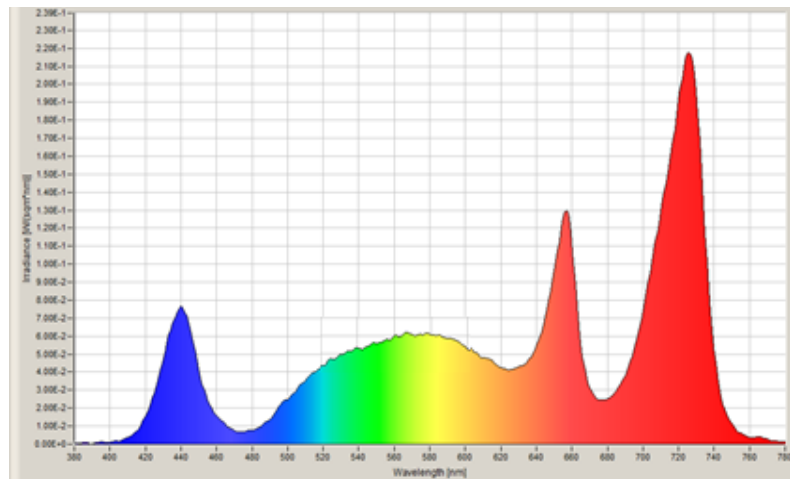


Рис. 2. – Спектральный состав излучения Ф02

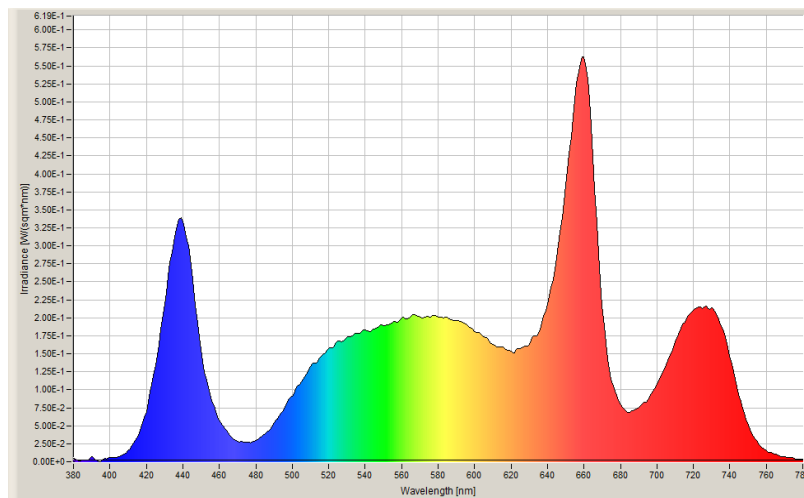


Рис. 3. – Спектральный состав излучения Ф03

В процессе роста и развития растений огурца обнаружены различия по количеству листьев. По сравнению с растениями огурца под Ф02, растения под Ф01 и Ф03 имели меньшее (15 сутки) количество листьев в 1,2 и 1,43 раза, соответственно. К концу вегетационного периода тенденция сохранилась.

Биометрические показатели растений огурца сорта Святогор *F1* (на 50-е сутки) при различных вариантах облучения представлены в таблице 1.

Более насыщенный зеленый цвет листьев растений огурца под Ф02 можно объяснить повышенным содержанием хлорофилла (CCI, %).

Для растений огурца в возрасте 50 суток была определена сырая масса. Наибольшая сырая масса, в среднем на 42 г, наблюдалась у растений, выращенных под Ф02 относительно вариантов облучения Ф01 и Ф03.

Таблица № 1

Биометрические показатели растений огурца сорта Святогор *F1*

Показатель	Варианты облучения		
	Ф01	Ф02	Ф03
Диаметр стебля, мм	8,10 ± 0,8	9,17 ± 0,7	7,40 ± 0,7
Сырая масса, г	276,00 ± 62,4	318,00 ± 42,1	276,00 ± 12,2
Урожайность, г	1192,00	1921,00	882,00
CCI, %	19,70 ± 2,3	21,30 ± 3	17,80 ± 2,5

Урожайность растений огурца сорта Святогор *F1* была максимальной под Ф02. Вес плодов под Ф02 был выше чем под Ф01 и Ф03 на 37,9% и 54,1 % соответственно.

Результаты таблицы 1 позволяют сделать вывод, что вариант спектра излучения Ф02 (рис. 2) оказался более эффективным, обеспечивая не только лучшее качество рассады растений огурца, но и более высокую продуктивность. Это, видимо, можно объяснить наличием в спектре

излучения Ф02 значительной доли излучения с  $\lambda=730$  нм, то есть излучения за пределами ФАР, которое не используется растением, но существенно влияет на его рост и развитие, что также отмечается в [11, 12].

Полученные результаты работы будут иметь практическую значимость в виде разработанных технических рекомендаций для производителей ФО на основе светодиодов, в том числе входящих в инновационный территориальный кластер Республики Мордовия «Светотехника и оптоэлектронное приборостроение».

Социальная значимость работы связана с повышением экологичности тепличных хозяйств, которые в современных условиях используют в основном НЛ ВД, содержащие ртуть. Создание высокоэффективных ФО на основе светодиодов позволит выращивать экологически чистые овощные культуры.

### Литература

1. Прикупец Л. Б. Технологическое освещение в агропромышленном комплексе России // Светотехника. 2017. № 6. С. 6 – 14.
2. Prikupets L. B., Boos G. V., Terekhov I. G. Optimisation of lighting parameters of irradiation in light culture of lettuce plants using LED emitters biomass // Light & Engineering. 2019. Vol. 76. № 5. pp. 43 – 54.
3. Kurshev A. E., Bogatyrev S. D., Zheleznikova O. E., Chmil K. A. Research Into Irradiation Conditions with LED Phyto-irradiators in Cucumber Plants Cultivating by Photoculture Technology // Light & Engineering. 2021. Vol. 29. № 3. pp. 56 – 61.
4. Тихомиров А. А., Ушакова С. А., Шихов В. Н., Шклавцова Е. С. Концептуальные подходы к выбору спектра излучения ламп для выращивания растений в искусственных условиях // Светотехника. 2019. Специальный выпуск. С. 19 – 23.

5. Dong C., Fu Y., Liu G., Liu H. Growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity and biomass yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) exposed to LED light sources with different spectra combinations //Journal of Agronomy and Crop Science. 2014. Vol. 200. pp.219 – 230.
  6. Lin K., Huang M., Huang W., Hsu M., Yang Z., Yang, C. The effects of red, blue, and white light-emitting diodes on the growth, development, and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata) // Scientia Horticulturae. 2013. Vol. 150. pp. 86–91.
  7. Liu X. Y., Guo S. R., Xu Z. G., Jiao X. L. Regulation of Chloroplast Ultrastructure, Crosssection Anatomy of Leaves, and Morphology of Stomata of Cherry Tomato by Different Light Irradiations of LED //HortScience. 2011(b). Vol. 46, № 2. pp. 217 -221.
  8. Zheleznikova O. E., Sinitsyna L. V., Ageev S. N., Blentsov I. V. On the Hygienic Efficiency of Lighting with LEDs in Industrial Premises //Light & Engineering. 2021. Vol. 29. №3. pp. 11- 18.
  9. Kurshev A. E., Bogatyrev S. D., Zheleznikova O. E., Gorbunov A. A., Myshonkov A. B., Prytkov S. V., and Lyulyov A. O. //Light & Engineering. 2022. Vol. 30. №3. pp. 93 - 100.
  10. Сарычев Г. С. Продуктивность ценозов огурцов и томатов в функции спектральных характеристик ОСУ //Светотехника. 2001. № 2. С. 27 – 29.
  11. Terekhov V.G. Irradiation system for a City Farm automated multilayer phitoinstallation //Light & Engineering. 2019. Vol. 27 № 6. pp. 106 – 111.
  12. Smith H. Phytochrome-mediated Responses Implications for Controlled Environment Research Facilities //Proceedings International Lighting in Controlled Environments Workshop /Ed. Tibbitts T. W. Ames: NASA Ames Research Center. 1994. pp. 57 – 67.
-



## References

1. Prikupets L. B. Svetotechnika. 2017. № 6. pp. 6 – 14.
2. Prikupets L. B. Boos G. V., Terekhov I. G. Light & Engineering. 2019. Vol. 76. № 5. pp. 43 – 54.
3. Kurshev A. E., Bogatyrev S. D., Zheleznikova O. E., Chmil K. A. Light & Engineering. 2021. Vol. 29. № 3. pp. 56 – 61.
4. Tichomirov A. A., Ushakova S. A., Shihov V. N., Shklavtsova E. S. Svetotekhnika. 2019. Spetsialnyi vypusk. pp. 19 – 23.
5. Dong C., Fu Y., Liu G., Liu H. Journal of Agronomy and Crop Science. 2014. Vol. 200. pp.219 – 230.
6. Lin K., Huang M., Huang W., Hsu M., Yang Z., Yang, C. Scientia Horticulturae. 2013. Vol. 150. pp. 86–91.
7. Liu X. Y., Guo S. R., Xu Z. G., Jiao X. L. HortScience. 2011(b). Vol. 46, № 2. pp. 217 -221.
8. Zheleznikova O. E., Sinitsyna L. V., Ageev S. N., Blentsov I. V. Light & Engineering. 2021. Vol. 29. №3. pp. 11- 18.
9. Kurshev A. E., Bogatyrev S. D., Zheleznikova O. E., Gorbunov A. A., Myshonkov A. B., Prytkov S. V., and Lyulyov A. O. Light & Engineering. 2022. Vol. 30. №3. pp. 93 - 100.
10. Sarychev G. S. Svetotekhnika. 2001. № 2. pp. 27 – 29.
11. Terekhov V.G. Light & Engineering. 2019. Vol. 27 № 6. pp. 106 – 111.
12. Smith H. Proceedings International Lighting in Controlled Environments Workshop. Ed. Tibbitts T. W. Ames: NASA Ames Research Center. 1994. pp. 57 – 67.

