

Разработка методики определения спектра поглощения биологических систем на примере растений

© С.И. Супельняк, С.А. Адарчин, С.С. Стрельченко,
В.Г. Косушкин

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Обоснована актуальность тематики изучения оптических характеристик растений для создания оптимальных источников освещения. Рассмотрена методика измерения спектральных характеристик биологических систем на примере культурного растения. Установлено, что в процессе развития растения коэффициент поглощения значительно уменьшается. Проведена оценка результатов измерений и испытаний методики, а также сделаны выводы о способе изменения спектра поглощения культурного растения. На основе измеренных спектров поглощения предполагается разработать адаптивный осветитель.

Ключевые слова: адаптивный осветитель, спектр поглощения, спектральные характеристики, коэффициент поглощения.

Введение. В связи с ростом цен на электроэнергию перед владельцами теплиц и теми, кто использует искусственное освещение для выгонки рассады сельскохозяйственных культур и цветов, встает вопрос о снижении затрат на электроэнергию. Кроме того, традиционные источники света не отвечают требованиям по спектральному составу света, необходимого для растений [1]. Опыт применения искусственного освещения в тепличных хозяйствах свидетельствует о существенных недостатках серийно выпускаемых сегодня осветителей. Эти недостатки обусловлены существенными затратами как на электроэнергию, так и на содержание теплиц. Предложенные в проекте «Адаптивные источники освещения и технология высокоэффективного производства сельскохозяйственных культур» осветители позволяют на порядок повысить эффективность использования электроэнергии, а следовательно, и конкурентную способность отечественной продукции. Вступление РФ в ВТО однозначно заставит предприятия тепличной отрасли переходить к эффективным технологиям выращивания продовольственных растений.

Предлагаемый светодиодный осветитель обладает спектром излучения, охватывающим весь диапазон эффективного поглощения 400...700 нм, адаптирован под конкретный вид сельскохозяйственной культуры, а также условия внешнего освещения. Использование адаптивного светодиодного осветителя с оригинальной технологией освещения позволит снизить количество потребляемой электроэнергии без потери в объеме и качестве выращиваемой продукции и полу-

чить положительный эффект, выраженный в увеличении скорости роста и набора биомассы растений.

Методика проведения эксперимента. На первом этапе исследований была отработана методика измерения спектральных характеристик. Все измерения проводили на спектрофотометре СФ-20 Ленинградского оптико-механического объединения. Также использовали цифровой мультиметр DT 9208A, блок питания (9 В, 7,5 А), лампу накаливания Navigator1c (12 В, 10 Вт) и фотодиод ФД-24К (рис. 1).

В результате отработки методики было принято решение измерять напряжение фотодиода, поскольку это обеспечивало наибольшую точность измерения спектра поглощения. Однако для расчета коэффициента поглощения и построения спектральной характеристики поглощения необходимо знать ток фотодиода [2].

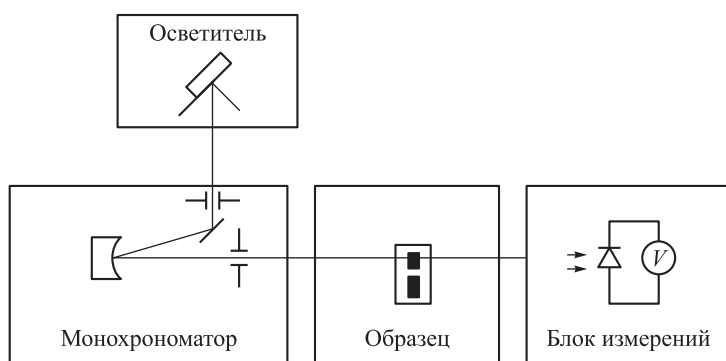


Рис. 1. Схема измерительного стенда

Именно ток I является важной характеристикой поглощения излучения, так как дает возможность узнать число фотонов в потоке излучения:

$$I = \frac{eP_r}{h\nu} = en, \quad (1)$$

где e — элементарный электрический заряд; P_r — мощность поглощенного монохроматического излучения; h — постоянная Планка; ν — частота монохроматического излучения; n — число фотонов с заданной энергией монохроматического излучения.

Зависимость тока I от напряжения U выражается формулой Шокли:

$$I = I_s \left[\exp\left(\frac{eU}{k_B T}\right) - 1 \right]. \quad (2)$$

Здесь I_s — ток насыщения фотодиода; U — напряжение фотодиода при прохождении излучения через образец; k_B — постоянная Больцмана; T — температура, $T = 20$ °С.

Коэффициент поглощения рассчитывали согласно формуле

$$a = \frac{1}{d} \frac{e(U - U_0)}{k_B T}, \quad (3)$$

где d — толщина образца (листа); U_0 — напряжение фотодиода при отсутствии образца.

Было выяснено, что можно уменьшить погрешности измерения, вносимые такими факторами, как структура и концентрация фотоактивных веществ в образцах, имеющих различное расположение листьев и находящихся на разных этапах развития [3].

Для этого измеряли спектры поглощения одинаковых участков образцов. Участки выбирали без крупных жил, чтобы не снижался прошедший сквозь образец поток света.

Спектроскопия является уникальным средством анализа материалов. Химические связи, которые присутствуют в органических соединениях, поглощают энергию в видимом диапазоне, что можно считать очень хорошими «отпечатками пальцев» структуры. В настоящее время существуют обширные библиотеки и каталоги известных материалов, веществ, пигментов, что позволяет быстро сравнивать и определять совпадающие линии [4].

Однако не стоит забывать, что при использовании аналитической техники очень важно знать ее ограничения. Любые числовые оценки (интерпретации) спектров поглощения следует применять с осторожностью. По изменению соотношений высот пиков можно судить об изменении фракции в смеси, однако вычисление по высоте пика абсолютного процентного соотношения компонентов в смеси означает расширение возможностей метода за пределы его обоснованного применения. Только с помощью нескольких известных стандартов можно получить абсолютное процентное соотношение, но область применения таких стандартов очень ограничена. В любом аналитическом методе следует опасаться избыточной (необоснованной) интерпретации [5].

Для расчета интегральной спектральной характеристики, значение которой будет являться средним арифметическим значением коэффициентов поглощения, использовали множество образцов.

Результаты эксперимента. Исследования спектральных характеристик выбранной сельскохозяйственной культуры показали, что в процессе ее развития спектр поглощения изменялся (рис. 2) [6].

С использованием отработанной методики были измерены спектральные характеристики конкретного сорта сельскохозяйственной культуры, производимой в теплицах ОАО «Тепличный», на различных этапах развития. Исследовали 20 образцов рассады на четырех этапах развития.

Средневзвешенные спектральные характеристики выбранной сельскохозяйственной культуры представлены на рис. 3. Графики показывают, что коэффициент поглощения зависит от возраста листа растения [7].

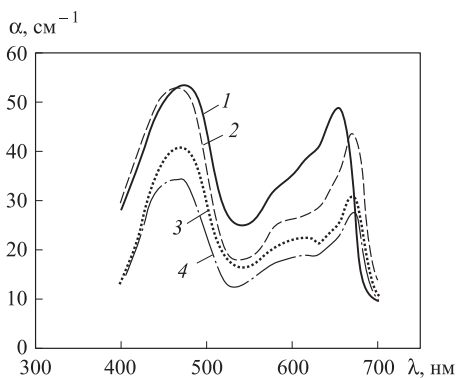


Рис. 2. Спектры поглощения листа огурца сорта «Кураж» на четырех этапах развития:

1, 2 — первая и вторая семядоля соответственно; 3, 4 — первый и второй взрослый лист соответственно

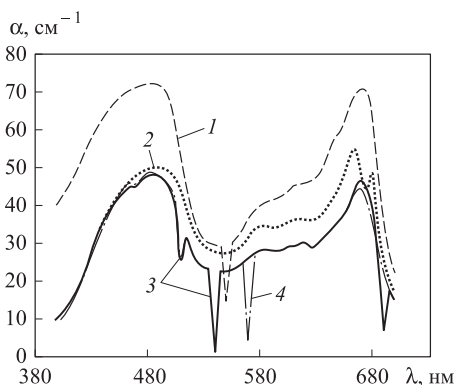


Рис. 3. Средневзвешенные спектры поглощения 20 образцов листа огурца сорта «Кураж» на четырех этапах развития:

1, 2 — первая и вторая семядоля соответственно; 3, 4 — первый и второй взрослый лист соответственно

Максимальные изменения коэффициента поглощения между образцами первой семядоли и взрослого второго листа на длинах волн $\lambda = 485$ нм и $\lambda = 670$ нм оказались равными соответственно $\Delta\alpha = 24,786$ см⁻¹ и $\Delta\alpha = 25,7$ см⁻¹.

На основе полученного спектра поглощения конкретной сельскохозяйственной культуры были сделаны выводы о необходимом спектральном составе света и составлена программа совместных работ по внедрению светодиодных осветителей в растениеводство.

Заключение. В результате проведенных исследований по изучению спектра поглощения растений были получены спектральные характеристики важной сельскохозяйственной культуры на различных этапах ее жизненного цикла. Предложена технология освещения культурных растений, которая предполагает изменение уровня мощности и спектра освещения во времени в зависимости от возраста растения. На основе измеренных спектров поглощения рассады огурца сорта «Кураж» разрабатывается светодиодный фитосветильник.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Волков В.Н., Свентицкий И.И., Сторожев П.И., Царева Л.А. *Искусственное облечение растений*. Москва, Пушкино, 1982. 41 с.

- [2] Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. *Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения*. Ленинград, Наука, 1989, 310 с.
- [3] Хелдт Г.В. *Биохимия растений*. Москва, Бином. Лаборатория знаний, 2011, 471 с.
- [4] Джадд Д., Вышецки Г. *Цвет в науке и технике*. Москва, Мир, 1978, 592 с.
- [5] Дэвис Д., Джованелли Д., Рис Т. *Биохимия растений*. Москва, Мир. 1966, 512 с.
- [6] Супельняк С.И., Шальго И.М., Стрельченко С.С. Применение светодиодного освещения в производстве овощей. *Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе*. Мат. регион. науч.-техн. конф. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011, с. 96.
- [7] Супельняк С.И., Шальго И.М., Стрельченко С.С. Разработка адаптивного светодиодного фитосветильника. *Научные технологии в приборостроении и машиностроении и развитие инновационной деятельности в вузе*. Мат. Всерос. науч.-техн. конф. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012, т. 3, с. 10.

Статья поступила в редакцию 19.06.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Супельняк С.И., Адарчин С.А., Стрельченко С.С., Косушкин В.Г. Разработка методики определения спектра поглощения биологических систем на примере растений. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 12. URL: <http://engjournal.ru/catalog/bio/hidden/1290.html>

Супельняк Станислав Игоревич родился в 1991 г., окончил КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2014 г. Область научных интересов: влияние излучения на функционирование биологических систем. e-mail: supelnyak@gmail.com

Адарчин Сергей Александрович родился в 1976 г., окончил КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2000 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Материаловедение» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: электроника, надежность, физика полупроводников. e-mail: adarchin@rambler.ru

Стрельченко Станислав Сергеевич родился в 1940 г., окончил ХГУ в 1963 г. Д-р техн. наук, профессор кафедры «Материаловедение». Область научных интересов: эпитаксиальные пленки и структуры A^3B^5 и приборы на их основе. e-mail: stas40@kaluga.ru

Косушкин Виктор Григорьевич родился в 1948 г., окончил ЛТИ им. Ленсовета в 1972 г. Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Материаловедение» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: рост монокристаллов, инновационная деятельность. e-mail: kosushkin@gmail.com

Development of methods for determining the absorption spectrum of biological systems by an example of plants

© S.I. Supelnyak, S.A. Adarchin, S.S. Strelchenko, V.G. Kosushkin

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga 248000, Russia

The purpose of the article is to study the optical characteristics of plants to create optimal lighting sources. We examined the method of measuring the spectral characteristics of biological systems on the example of cultivated plants. It has been established, that the absorption coefficient is significantly reduced when developing. As a result of constructing an average weighted absorption spectrum of a crop plant leaf, it was revealed that the absorption maxima belong to the region at wavelengths of 670 nm and 485 nm. Maximal changes in the absorption coefficient between the samples of the first cotyledons and mature second sheet at wavelengths of 485 nm and 670 nm were respectively equal to $24,786 \text{ cm}^{-1}$ and 25.7 cm^{-1} . We estimated measurement results and test methods, and made conclusions about how to measure the absorption spectrum of cultivated plants. On the bases of the measured absorption spectra of the selected leaf crop we expect to develop an adaptive illuminator for crop production.

Keywords: *adaptive, absorption spectrum, the spectral characteristics, absorption coefficient.*

REFERENCES

- [1] Volkov V.N., Sventitsky I.I., Storozhev P.I., Tsarev L.A. *Iskusstvennoe obluchenie rastenii* [Artificial irradiation plants]. Moscow, Pushchino Publ., 1982, 41 p.
- [2] Andreev V.M., Griliches V.A., Rumyantsev V.D. *Fotoelektricheskoe preobrazovanie kontsentririrovannogo solnechnogo izlucheniya* [Photoelectric conversion of concentrated solar radiation]. Leningrad, Nauka Publ., 1989, 310 p.
- [3] Heldt G.V. *Biokhimiia rasteniy* [Biochemistry of plants]. Moscow, Bean. Knowledge Laboratory Publ., 2011, 471 p.
- [4] Dzhadd D., Vyshetski G. *Tsvet v nauke i tekhnike* [Color in Science and Technology]. [in Russian]. Moscow, Mir Publ., 1978, 592 p.
- [5] Davis D., Giovanelli D., Rice T. *Biokhimiya rasteniy* [Biochemistry of plants]. [in Russian]. Moscow, Mir Publ., 1966, 512 p.
- [6] Supelnyak S.I., Shalygo I.M., Strelchenko S.S. *Primenenie svetodiodnogo osveshcheniya v proizvodstve ovoshchei* [Application of LED lighting in the production of vegetables]. *Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoi deyatel'nosti v vuze: Materialy regional'noi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii 30 noyabrya – 2 dekabrya 2011 g.* [High Tech in the instrument and the engineering and development of innovation activities in high school: Proceedings of the Regional Science and Technology Conference, November 30 – December 2, 2011]. Vol. 2. Moscow, BMSTU Publ., 2011, pp. 96.
- [7] Supelnyak S.I., Shalygo I.M., Strelchenko S.S. *Razrabotka adaptivnogo svetodiodnogo fitosvetil'nika* [Developing adaptive LED fitosvetilnika]. *Naukoemkie tekhnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovatsionnoi deyatel'nosti v vuze: Materialy Vserossiyskoi nauchno-tekhnicheskoi kon-*

ferentsii 4–6 dekabrya 2012 g. [High Tech in the instrument and the engineering and development of innovation activities in high school: All-Russian Scientific and Technical Conference 4–6 December, 2012]. Vol. 3. Moscow, BMSTU Publ., 2012, pp. 10.

Supelnyak S.I. (b. 1991) graduated from Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University in 2014. Research interests: the effect of radiation on the functioning of biological systems. e-mail: supelnyak@gmail.com

Adarchin S.A. (b. 1976) graduated from Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University in 2000. Ph.D., Assoc. Professor, Deputy Head of the Materials Sciences Department at Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. Research interests: electronics, reliability, physics of semiconductors. e-mail: adarchin@rambler.ru

Strelchenko S.S. (b. 1940) graduated from Kharkov State University in 1963. Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Materials Sciences Department at Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. Research interests: epitaxial films and structures A^3I^5 , and devices based on them. e-mail: stas40@kaluga.ru

Kosushkin V.G. (b. 1948) graduated from Leningrad Technological Institute named after Lensovet in 1972. Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Material Sciences Department at Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University. Research interests: monocrystals growth, innovation activities e-mail: kosushkin@gmail.com