

СПОСОБЫ ОЦЕНКИ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИ АКТИВНОЙ РАДИАЦИИ

Туранов С.Б., Козырева И.Н., Яковлев А.Н.

Научный руководитель А.Н. Яковлев, к. ф-м. н.

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: tyrsb@yandex.ru

Областей применения светодиодов становится все больше и больше. Так, например, в настоящее время уже никого не удивит световым прибором для растений (фитосветильником) на базе светодиодов. Фитосветильником называют световой прибор для стимуляции роста и развития растения, применяемый при полном отсутствии или дефиците естественного света, например в зимний период. Оценка фитохарактеристик такого светильника, является неотъемлемым и важнейшим этапом его проектирования.

Только часть оптического диапазона способствует развитию растения – область фотосинтетически активной радиации (ФАР) [1, 2]. ФАР – часть излучения видимого оптического диапазона, к которому растение наиболее восприимчиво, необходимого и достаточного для обеспечения жизнедеятельности и образования биомассы в процессе фотосинтеза [1, 3, 4, 5, 6]. Принятые за рубежом границы ФАР 400–700 нм несколько отличаются от отечественных 380–710 нм [2, 4, 5, 7, 8], 380–720 нм [9]. Однако данное различие не существенно отражается на измерении ФАР [2].

ФАР измеряют с помощью энергетических и световых величин [5]. Оценка ФАР по световым величинам усложнена необходимостью пересчета. Большой проблемой при оценке ФАР, является большое разнообразие встречающихся в научной литературе величин, характеризующих падающее на растения и воспринимаемое ими оптического излучения. Например, в отечественной литературе можно встретить следующие единицы измерения: $\text{кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{мин}^{-1}$ [2], $\text{эйнштейн} / \text{см}^2$, $\text{эрг} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ [5, 9, 10]; интенсивность ФАР, $\text{Вт} / \text{м}^2$ [11, 12]. За рубежом распространена оценка растениеводческих ИИ по потоку фотонов. Зарубежные исследователи указывают значения плотности фотосинтетического потока фотонов в $\text{мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) [3, 13]. Такой подход требует корреляции числа фотонов с количеством молекул вещества, способных его воспринять. Число фотонов, равное числу Авогадро ($N_A = 6,026 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹), принято как единица фотонного потока, получившая название Эйнштейн. Вместо названия Эйнштейн нередко используется термин, являющийся синонимом – «моль квантов» [1]. Отсутствие единого подхода к измерению потока фотонов, безусловно связано с отсутствием официальной единицы измерения фотонного потока в международной системе СИ.

Стоит отметить, что применение различных единиц для оценки эффективности фитосветильников очень неудобно, так как требует трудоемкого пересчета при анализе результатов исследований, а также затрудняет сравнение уже получен-

ных различными авторами результатов исследований эффективности воздействия на растения оптических излучений, особенно при использовании разных типов источников света и видов растений.

В литературе присутствуют разрозненные данные по методам оценки ФАР. Многие исследователи предлагают свои методы, и активно ими пользуются, но сводная информация отсутствует, поэтому рассмотрим наиболее распространенные из них.

1. Измерение с помощью квантовых датчиков

Один из самых простых способов оценки ФАР – это измерение с помощью квантовых датчиков. Точность измерений датчиком достигается из-за учета спектральной чувствительности растений, которая включена в алгоритм обработки прибора. Проведение измерений в нужном спектральном диапазоне обеспечивается применением системы стеклянных и интерференционных фильтров. В результате, спектральная характеристика (рис. 1) квантового датчика совпадает с областью ФАР.

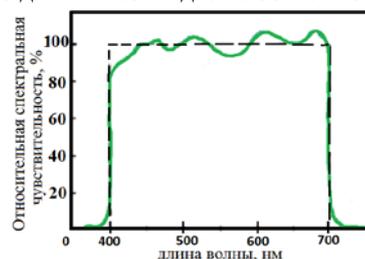


Рисунок 1 – Спектральная характеристика квантового датчика LI-190SA [3]

Такие приборы могут измерять ФАР в энергетических величинах ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$) или определять число квантов на единицу площади в единицу времени (плотность фотосинтетического потока фотонов, $\text{мкмоль} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$).

2. Методика пересчёта световых величин лучистой энергии в энергетические единицы

Энергетические и фотометрические величины резко отличаются друг от друга по способу их регистрации. Соответственно, очень важным вопросом является пересчет световых величин в энергетические. Данная методика пересчёта [15] включает измерение освещенности на поверхности облучаемой поверхности, и дальнейший пересчет полученного значения в энергетические величины.

3. Сравнение спектра излучения светодиодного источника света со спектром излучения эталонного источника света с известным распределением энергии излучения в спектре

Данная методика оценки ФАР, основана на определении спектральной плотности энергетиче-

ской (габаритной) яркости светодиодных модулей стандартными методами с использованием ламп с известной цветовой температурой [16].

4. Оценочный пересчет для монохроматического излучения

Данный метод пересчета энергетических величин в фотонные основан на использовании уравнения Планка. В этом методе, происходит оценочный расчет ФАР по известной мощности источника света и стандартным величинам [17]

5. Корреляция между фотометрическими, энергетическими и фотосинтезными величинами

Для упрощения сравнительной оценки эффективности различных источников излучения по известным спектральным характеристикам, предложена методика [18, 19], использующая корреляцию между фотометрическими, энергетическими и фотосинтезными величинами.

Заключение

Правильная оценка фотосинтетически активной радиации является очень важной и актуальной задачей облучательной светотехники при исследовании воздействия излучения на растения. В статье рассмотрены пять самых распространенных методов оценки ФАР. Проанализировав каждый из них, можно сделать вывод, что измерение ФАР с помощью квантовых датчиков является наиболее простым и не требующим дополнительных расчетов методов. Также следует отметить метод предложенный Малышевым. Так как этот метод предлагает сравнительную оценку эффективности различных источников оптического излучения по уже известным спектральным характеристикам, его можно использовать для светотехнических расчетов в программных комплексах (DIALux, Relux, ArCon, LightWave и др.), что очень важно для проектировщиков фитосветильников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-08-00109 а.

Литература

1 Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2000.– 213 с.

2 Тооминг Х.М., Гуляев Б.И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. – М.: Наука. 1967. – 144 с.

3 Radiation Measurement Instruments [электронный ресурс] URL: <http://www.licor.com/env/pdf/light/RMB.pdf> (дата обращения 18.12.2013).

4 Мурей И.А., Шульгин И.А. Физиологические подходы к оценке использования лучистой энергии растением // Светотехника. – 1979. – № 9. – 16-18 с.

5 Леман В.М. Курс светокультуры растений. – М.: Высшая школа. – 1976 – 271 с.

6 Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю.Б. Айзенберга. М.: Знак, 2006. – 972 с.

7 Головнева Н.Б., Терентьев В.М., Федюнкин Д.В. Об оценке эффективности излучения для выращивания растений // Светотехника. – 1980. – № 5 – 16-17 с.

8 Вассерман А.Л., Малышев В.В. Об оценке эффективности облучения растений // Светотехника. – 1985. – № 8 – 16-17 с.

9 Клешнин А.Ф. К вопросу об измерении лучистой энергии для ботанических целей // Светотехника. – 1980. – № 10 – 19-20 с.

10 Воскресенская Н.П. Фотосинтез и спектральный состав света.–М.:Наука,–1965.311 с.

11 Козырев Б.П. Оценка эффективности излучения для растений // Светотехника. – 1971. – № 4 – 16-17 с.

12 Протасова Н.Н., Уеллс Дж. М., Добровольский М.В., Цоглин Л.Н. Спектральные характеристики источников света и особенности роста растений в условиях искусственного освещения // Физиология растений. – 1990. – Т. 37, вып. 2. – 386-396 с.

13 Кхан Т.К., Шпентьес Н., Эльце Т. Предложения по оценке излучения, физиологически активного для растений // Светотехника. – 2003. № 1. – 40-41 с.

14 Principles of radiation measurement/Брошюра компании LI-COR. [электронный ресурс] URL: http://www.licor.com/env/pdf/light/Rad_Meas.pdf (дата обращения: 31.01.2014).

15 Геворгиз Р.Г., Щепачев С.Г. Методика пересчета фотометрических единиц освещенности в единицы энергетического количества. [электронный ресурс] URL: <http://biotex.ibss.org.ua/methods.html?order=ASC&p=2> (дата обращения 31.01.2014).

16 Козырева И.Н., Корепанов В.Н., Фотосинтетическая оценка светодиодных модулей для облучения растений // XI международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития отечественной светотехники, электротехники и энергетики» – Саранск: изд-во Афанасьев В.С., 2013. – 38-41 с.

17 Ritchie R.J. Modelling photosynthetic photon flux density and maximum potential gross photosynthesis // Photosynthetica. – 2010. – 48 (4). – P.596–609.

18 Малышев В.В., Кручинин П.Г., Летаев С.А. Оценка эффективности источников оптического излучения для растениеводства. // Техника в сельском хозяйстве. – 2009. – №4. – 19–22 с.

19 Козырева И.Н., Никитин В.Д., Цугленок Н.В. Графоаналитическая интерпретация параметров и характеристик источников излучения для растениеводства // Вестник КрасГАУ. – 2013. – № 12. – 236–241 с.