

Татьяна Астафурова, д. б. н., профессор | science@info.tsu.ru
Виталий Лукаш, к. ф.-м. н. | Александр Гончаров | Василий Юрченко

Фитотрон

для светодиодной досветки растений в теплицах и на дому

Проведено сравнительное изучение морфофизиологических особенностей роста и развития растений в устройстве с равномерной подсветкой от полупроводниковых источников красного света (фитотрон). Показано ускорение роста овощных культур под воздействием подсветки красным светом.

В начале XX века было замечено благоприятное воздействие искусственного освещения на рост растений. Эксперименты, проведенные на Земле и в космосе в начале 80-х годов прошлого столетия, показали, что при освещении растений длинноволновым красным светом с энергетическим потоком $\Phi_e = 3 \times 10^{-2}$ Вт интенсивность их роста увеличивается по сравнению с ростом при дневном освещении [1]. Нестабильный уровень естественного освещения в осенний и зимний периоды лимитирует развитие птиц, животных и рост овощных культур, что, естественно, снижает их продуктивность.

Известно, что при низкой освещенности наиболее эффективно проявляется фоторегуляторное действие света, энергия которого используется преимущественно для переключения метаболических путей, начинающихся функционировать с большим коэффициентом усиления. Досветка овощных культур в определенной области спектра позволяет существенно повысить их урожайность. В технологии досветки есть высокоинтенсивные и низкоинтенсивные методики, при которых не происходит нагрева обрабатываемых объектов. При этом для минимизации затрат энергии чрезвычайно важно знать аспекты взаимодействия излучения с объектом. Интересным представляется когерентное и некогерентное возбужде-

ние от системы нескольких маломощных источников.

В настоящее время свойства биообъекта как приемника солнечного света (электромагнитного излучения) описаны в деталях на атомно-молекулярном уровне как в популярных, так и в серьезных научных журналах и монографиях [2–4]. Наиболее важными составными частями фотосинтетического аппарата являются: светособирающая антенна, фотохимический реакционный центр и цепь транспорта электронов. Интересен предложенный З. Г. Фетисовой и затем экспериментально подтвержденный метод математического моделирования принципа оптимизации функционирования светособирающих структур как пример способности клеток к кооперативному решению задач их существования. Необходимо предложить подход для поиска оптимальных спектральных составов облучения для структуры растения как сложного биологического объекта с изменяющейся по времени и в пространстве геометрией, но функционирующего постоянно по местоположению.

Целью данной работы являлось исследование воздействия светодиодной досветки растений красным светом в устройстве, обеспечивающем равномерную подсветку (фитотроне), проведение сравнительного изучения морфофизиологических особенностей роста и развития растений в фитотроне и исполь-

зование полученных результатов в пленочных теплицах.

Разрабатываемый комплекс по досветке овощных культур предназначен для обеспечения регулируемого по спектральному составу и интенсивности дополнительного освещения овощных культур, выращиваемых в тепличных условиях. В настоящее время можно получать свет различных участков спектра с помощью полупроводниковых устройств [5], дающих почти монохроматический пучок в определенной спектральной полосе. Для растениеводства важными и интересными являются устройства красного света. В производственных и в лабораторных условиях использовались полупроводниковые источники красного света с длиной волны 660 ± 15 нм, повышающего интенсивность фотосинтеза и регулирующего активность фитохромной системы [6, 7]. Требуется обеспечить создание эффективного низковольтного электрооборудования в виде управляемых многоволновых систем освещения нового поколения. Сравнительная оценка существующих методов приведена в табл. 1.

Установки состоят из модулей, предназначенных для решения самостоятельных задач по досветке и подключаемых в технологическую схему в зависимости от необходимости их применения (параметров воздействия и предъявляемых требований к процессу досветки, площади и т. п.).

Для домашних (лабораторных) условий предполагается создание небольших и, следовательно, сравнительно недорогих секций

Таблица 1. Сравнение существующих методов досветки растений

Основные технические характеристики	Предлагаемый вариант	Системы ГСП-30-2000-001.У5	Системы КОП2-001-УХХЛ4 «Светотрон»	Системы 020ПДРИ-2000 «Светотрон»	Установка ОТ-400 МИ-045.У5	Установка ОТ-1000 МИ-049-У4	Установка ОГС 01-2000-002 «Фотос-4»
Масса, кг	1,0	3,05*	30	20,8*	07,9	16,0	4,0*
КПД ФАР**	0,99	0,29	0,29	0,29	0,08	0,08	0,29
Источник излучения	Светодиод	ДРИ 2000-6	ДРИ-2000	ДРИ-2000	ДРЛФ-400	ДРЛФ-1000	ДРИ-2000
Обеззараживание бактериальных загрязнений	+	+	+	+	+	+	+
Регулировка спектра	+	–	–	–	–	–	–
Регулировка интенсивности	+	–	–	–	–	–	–
Срок службы источников света, ч	50000	2000	2000	2000	5000	5000	2000
Площадь облучаемой поверхности, см	25×60	440×540	36 000×1080	490×1470	155×680	280×440	350×600
Напряжение, В	12	380	380	380	220	220	380

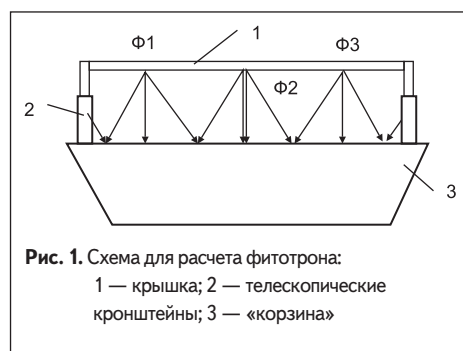
Примечание: * – масса облучающего прибора без ПРА; ** – физиологически активная радиация (ФАР).

фитотрона с поперечными размерами примерно 25×54 см². Это устройство будет являться базовой секцией, конструкция которой обеспечит возможность состыковки требуемого количества секций для создания фитотрона с большой площадью досветки, необходимой в производственных условиях. Для регулировки светового потока — главным образом в промышленных условиях — светодиодный комплекс досветки снабжается электронным блоком питания и управления. Для бытовых применений (например, выращивание рассады в домашних условиях) предполагается использовать специализированный блок питания.

По сравнению с существующими предлагаемые установки обладают следующими преимуществами:

- обеспечивают непрерывную комплексную и долговременную досветку;
- способны работать в режиме контроля технологического процесса досветки (регулировка интенсивности и спектра облучения);
- имеют модульную конструкцию;
- не требуют постоянного контроля за режимом досветки;
- имеют малую удельную энергоёмкость (один световой модуль облучения потребляет около 6 Вт);
- имеют компактные массогабаритные показатели при сравнительно большой производительности;
- отличаются мобильностью, размещены на легкой подвеске;
- быстро монтируются за счет функционально самостоятельных модулей;
- не требуют предварительной инженерно-строительной подготовки площади под размещение.

Схема фитотрона, используемая при расчетах, приведена рис. 1. На крышке закреплены полупроводниковые источники красного света (длина волны 660 нм), излучающие на поверхность почвы, насыпанной в «корзину», потоки Ф1, Ф2 и Ф3. Освещенность поверхности или растений можно изменять с помощью телескопических кронштейнов, увеличивая или уменьшая высоту источников света относительно уровня поверхности «корзины».



Для получения положительного эффекта достаточно энергетического потока $\Phi_e = 3 \times 10^{-2}$ Вт, что соответствует световому потоку $\Phi = 1,53$ лм, поэтому на поверхности почвы в «корзине» требуется создать освещенность $E = 1,53$ лм/м². Для определения параметров и коли-

чества полупроводниковых источников света использовался точечный метод. Пространственная освещенность в каждой зоне светового потока от источника света, находящейся под углом α к перпендикуляру к поверхности почвы, определяется выражением

$$E = (I \times \cos\alpha) / l^2,$$

где I — сила света источника под углом α , l — высота источника над уровнем почвы в «корзине».

Расстояние между соседними источниками света определяется из условия равномерности засветки поверхности от двух соседних источников света. Крайняя зона выносится из «корзины». Принятые размеры: ширина корзины 25 см, длина — 54 см, высота расположения источников света — 25 см.

В программе MathCad составлена модель расчета фитотрона, которая позволяет оптимизировать его параметры. Результаты были проанализированы на достоверность и сопоставлены с результатами, полученными при помощи программы для расчета уровня освещенности Dialux.

Расчет для такого фитотрона показывает, что для создания необходимой освещенности (энергетического потока) требуется 18 полупроводниковых источников красного света с осевой силой света не менее 0,25 Кд и полным углом расходимости светового пучка не менее 40°. Источники света расположены эквидистантно на высоте 25 см от поверхности почвы в «корзине».

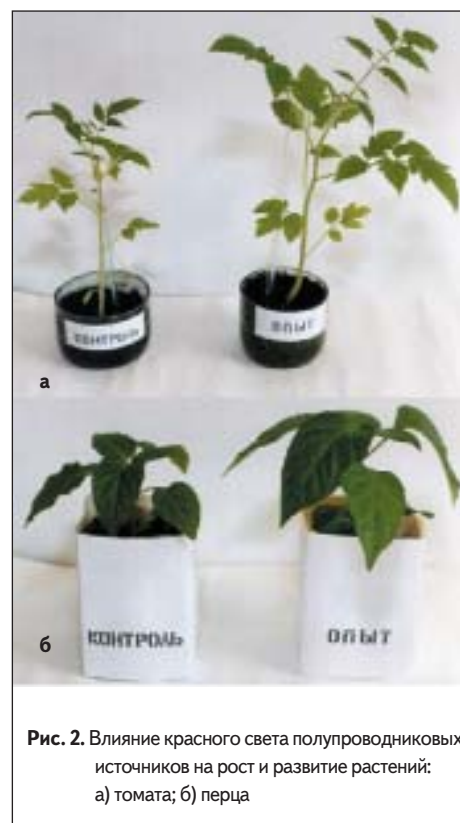
Объектами исследования в промышленных условиях служили растения огурца, томата, перца, капусты, редиса и салата, выращенные в осенний период (октябрь–ноябрь) в экспериментальных пленочных теплицах [5]. Температура воздуха в фитотроне и внутри теплиц сохранялась на уровне 19–21 °С и являлась комфортной для роста и развития овощных культур.

Таблица 2. Влияние света полупроводниковых источников (красный, 660±15 нм) на морфометрические характеристики 12-дневных растений огурца

Варианты опыта	Количество листьев, штук	Высота растения, см	Площадь ассимилирующей поверхности, см ²
Контроль	2	3,9±0,4	11,56±1,7
Опыт (диоды)	3	6,1±0,4	28,67±2,4

Таблица 3. Влияние света полупроводниковых источников (красный, 660±15 нм) на морфометрические характеристики 12-дневных растений

Варианты опыта	Высота растения, см	Число листьев, штук	Сырая масса 10 растений, г	Содержание сухого вещества 10 растений, %
Салат «Новогодний»				
Контроль	4,30±0,01	4,85±0,01	0,63	7,9
Опыт	4,35±0,01	5,75±0,01	0,68	8,7
Салат «Московский»				
Контроль	5,7±0,01	5,10±0,01	0,68	8,4
Опыт	4,65±0,02	6,85±0,01	0,96	9,7
Редис				
Контроль	13,55±0,01	2,90±0,01	6,63	6,1
Опыт	12,95±0,01	3,10±0,01	7,28	7,8
Капуста				
Контроль	15,5±0,5	—	32,07	9,05
Опыт	16,3±0,4	—	36,8	10,35



Морфометрические измерения растений огурца (табл. 2) показывают ускорение роста и развития растений под действием красного света, полученного с помощью полупроводниковых источников света. У опытных растений увеличивается высота, возрастают количество листьев и площадь ассимилирующей поверхности (рис. 2). Активирующая роль длинноволнового участка спектра обнаружена и для других растений (табл. 3). В 12-дневных растениях капусты и салата под действием

Таблица 4. Влияние света полупроводниковых источников (красный, 660 ± 15 нм) на содержание пигментов в 12-дневных растениях капусты и салата

Варианты опыта	Хл. а, мкг/г сырой массы	Хл. в, мкг/г сырой массы	Хл. а+в, мкг/г сырой массы	Хл. а/в	Каротиноиды, мкг/г сырой массы	Хл. а+в, каротин
Капуста						
Контроль	694 6	175 4	869 1	3,97	238 2	3,7
Опыт	778 1	197 0	974 10	3,95	264 4	3,7
Салат «Новогодний»						
Контроль	318 14	80 3	398 17	3,98	133 7	3
Опыт	415 2	131 6	546 3	3,17	144 3	3,8
Салат «Московский»						
Контроль	148 3	111 2	259 5	1,33	110 0	2,4
Опыт	313 3	97 2	410 1	3,23	121 0	3,4

красного света возрастает содержание хлорофилла а (хл. а) и суммы хлорофиллов (табл. 4). Содержание каротиноидов изменяется незначительно, хотя и отмечается некоторая тенденция к их увеличению. Соотношения хл. а/хл. в и суммы хлорофиллов, а также каротиноиды сохраняются в пределах физиологических колебаний.

Таким образом, во время падения интенсивности естественного света (осень–зима) или в условиях искусственного освещения досветка растений красным светом низкой интенсивности с использованием полупроводниковых источников света является благоприятной для роста и развития растений.

Выводы

- Проведенные исследования показывают, что морфологические изменения заметны только при облучении целостного растения. Это подтверждает биоинформационный характер низкоуровневого, нетеплового воздействия на объект как сложную самоорганизующуюся систему.
- Таким образом, во время падения интенсивности естественного света (осень–зима) или в условиях искусственного освещения досветка растений красным светом низкой интенсивности с использованием полупроводниковых

источников света является благоприятной для роста и развития растений. ●

Литература

1. Варфоломеев Л. П. Светодиоды и их применение // Новости светотехники. М: Дом света. 1998.
2. Рубин А. Б. Первичные процессы фотосинтеза // СОЖ. 1997. № 10.
3. Потапова Т. Энергетика живой клетки // В мире науки. 2006. № 3.
4. Шувалов В. А. Преобразование солнечной энергии в первичном акте разделения зарядов в реакционных центрах фотосинтеза. М.: Наука. 2000.
5. Трофимов Ю. Постулаты развития полупроводниковой светотехники // Современная светотехника. 2010. № 1.
6. Астафурова Т. П., Верхотурова Г. С., Зайцева Т. А., Симонова Е. И., Астафуров В. Г., Левицкий М. Е. Оптимизация условий освещения при выращивании овощных культур в закрытом грунте // Рациональное использование природных ресурсов Сибири. Томск. Изд-во ТГУ. 1989.
7. Аминов Р. И., Астафурова Т. П., Верхотурова Г. С., Викторова И. А., Зайцева Т. А., Лукаш В. С., Ракитин А. В. Оптимизация условий выращивания овощных культур в пленочных теплицах // Сб. трудов Томского сельхозинститута Новосибир. гос. аграрного унив-та. 2001.