



Сине-красный или естественный белый: какой спектр оптимален для растений?

Даже далекие от сельского хозяйства люди сейчас знают о существовании светильников с неким особым спектром, стимулирующим рост растений. Наиболее широкое распространение у садоводов-любителей получили осветительные приборы, дающие сочетание красного и синего цветов. Мы решили провести свое исследование, насколько такой спектр действительно способствует росту сельскохозяйственных культур и какими свойствами должны обладать светильники, позволяющие быстро выращивать вкусные овощи и фрукты.

До массового распространения осветительных светодиодов основным источником света в теплицах были натриевые лампы высокого давления (ДНаТ). Они обладали высокой энергоэффективностью, но имели узкий спектр излучения, бедный синей составляющей. Из-за этого выращиваемые в теплицах культуры по своим вкусовым качествам, как правило, проигрывали продукции, которая росла в открытом грунте.

Другая проблема — в лампах ДНаТ содержится ртуть, поэтому требуются специальные меры по их утилизации после завершения срока службы. Повышение энергоэффективности, улучшение экологичности, обеспечение повышенных вкусовых качеств — достижение перечисленных целей требует перехода с ДНаТ на светодиоды.

Первые попытки перехода на светодиодное освещение в теплицах относятся к середине 2000-х

годов. Тогда уже были осветительные светодиоды белого цвета, но они по энергоэффективности значительно уступали лампам ДНаТ. Кроме этого, белые светодиоды имели в своем спектре очень малую долю составляющей красного цвета. А ведь именно красный цвет во многом определяет скорость набора массы растением.

Красный + синий

Создатели первых агросветильников ориентировались на упрощенную модель фотосинтеза, относящуюся еще к XIX веку. В ней рассматривается только фотосинтез с непосредственным участием хлорофилла. В высших растениях (т. е. именно тех, которые выращиваются в теплицах для употребления в пищу человеком) присутствуют *хлорофилл а*, имеющий пики поглощения света 428–430 нм и 660–665 нм, а также *хлорофилл b* с пиками поглощения 450–460 нм и 642–652 нм. Поскольку листья растений имеют зеленый цвет, было сделано допущение, что в данном участке спектра происходит полное отражение от листьев и, значит, в фитосветильнике без него можно обойтись.

Сочетание красного и синего цветов было обусловлено просто технологическим уровнем, характерным для светодиодной отрасли 2000-х годов. Но эту тему быстро подхватили маркетологи, в результате чего было создано мнение, что такой спектр действительно стимулирует рост сельскохозяйственных культур. Это представление существует в широких массах до сих пор.



Пример освещения растений красными и синими светодиодами

Исходя из данного подхода, в светильнике для теплиц достаточно иметь светодиоды синего и красного свечения. Оба цвета могут быть получены непосредственным излучением полупроводниковых кристаллов без использования люминофора, что повышает КПД светильника. Вплоть до середины 2010-х годов, когда люминофоры для светодиодов были еще далеки от совершенства, это было важным преимуществом.

Почему важен зеленый цвет?

В солнечном излучении пик спектральной плотности приходится на зеленую составляющую. Неужели за миллионы лет эволюции растения не смогли приспособиться извлекать из нее энергию?

Согласно существующим сейчас представлениям в биологии, зеленый цвет листьев возник в процессе эволюции, чтобы предотвратить перегрев растений на участке спектра, где солнечное излучение наиболее сильное. В данном диапазоне фотосинтез тоже происходит, просто в нем напрямую задействованы пигменты, а не хлорофилл. Таким способом вырабатываются многие полезные для человека вещества, в том числе альфа-каротин, бета-каротин, лютеин, бета-криптоксантин и ликопин. Кроме этого, уровень зеленого в спектре дает своеобразный сигнал растениям, указывающий на правильное развитие (вверх или вширь). Важность зеленого участка спектра для развития растений была подтверждена серьезным научным исследованием [1].

Вообще, научно доказано, что фотосинтез происходит для длин волн в пределах от 400 до 700 нм, что охватывает почти весь видимый спектр.

Использование белого света

Итак, белый цвет освещения позволяет выращивать растения, содержащие полный комплекс полезных веществ, обладающие ярким вкусом и естественным внешним видом. Даже если учесть нынешнюю тенденцию на сворачивание глобализации, все равно владельцам теплиц приходится выдерживать конкуренцию с поставщиками продукции из южных стран. Поэтому важна не только скорость увеличения размеров и массы растений, но и качество получаемой продукции.

Но, помимо этого, у белого освещения есть и некоторые чисто технологические преимущества. При красно-синем освещении работать в теплице некомфортно. К тому же такое освещение не позволяет обнаруживать заболевания у растений. Современные теплицы могут вообще не иметь окон. Поэтому в дополнение к красно-синим придется добавить еще и белые светильники, которые включаются на время проведения работ в теплице. А это потребует дополнительных затрат.

Но следует иметь в виду, что не каждый белый светодиод годится для освещения растений. В его спектре излучения должен быть достаточный уровень красной составляющей. Низкий уровень красной составляющей характерен для светодиодов, имеющих низкий коэффициент цветопередачи CRI. Поэтому для освещения растений следует выбирать светодиоды, имеющие CRI не менее 80.

Красный + белый

Для выращивания растений также выпускаются светильники, имеющие в своем составе светодиоды красного и белого свечения. Визуально их свечение выглядит как слегка розовое. Спектр таких светильников не вызывает дискомфорта у персонала теплицы. К тому же под их светом без проблем обнаруживаются болезни растений.

Светильники с розоватым свечением делятся на две категории.

К первой, наиболее распространенной, относятся светильники, где красные светодиоды сочетаются с белыми, имеющими относительно низкое значение CRI. Дело в том, что светодиоды с низким CRI, как правило, дешевле и обладают более высокой энергоэффективностью. Нехватку красной составляющей в их спектре компенсируют за счет установки красных светодиодов. Но при этом наличие в устройстве светодиодов двух разных цветов снижает его ремонтпригодность. Перед нами — очередной пример технологического компромисса. Если в светильнике установлены белые светодиоды, сочетающие высокое значение CRI с энергоэффективностью (например, производства компании Refond), то необходимость в красных светодиодах отпадает.

Ко второй относятся светильники, где наряду с белыми применяются красные светодиоды, имеющие длину волны 730 нм. Существует гипотеза, что излучение с данной длиной волны стимулирует рост растений. Но такие светильники стоят очень дорого, что делает их применение экономически неэффективным для большинства сельскохозяйственных культур. Кроме этого, механизм стимуляции роста растений излучением с длиной волны более 700 нм пока недостаточно полно исследован. Поэтому приобретение таких светильников является довольно рискованным вложением средств.

Результаты научных исследований

Особенности роста растений под красно-синим излучением многократно исследовались как в России, так и за рубежом, на эту тему опубликованы сотни научных работ. Но если внимательно изучить, то подавляющее большинство публикаций можно отнести к одной из следующих категорий:

- Исследование роста растений под конкретной моделью светильника. Из полученных результатов делается вывод, что данный светильник пригоден для использования в сельском хозяйстве.
- Сравнение динамики роста растений под красно-синим светодиодным светильником только с динамикой под морально устаревшим светильником на основе ДНаТ.
- Поиск оптимального соотношения между интенсивностью излучения в красном и синем диапазонах.

Первый тип исследований обычно спонсируется производителями светильников. Исследования второго типа зачастую обусловлены актуальностью темы перехода от ДНаТ к светодиодам. Что же касается третьего типа исследований, то там преобладает чисто научный интерес, но вот результаты... Даже для одного и того же растения — салата «Латук» — у разных исследователей оптимальное соотношение между красным и синим цветами варьируется от 2:1 до 8:1. Причины такой разницы в результатах пока не получили научного объяснения.

Гораздо реже в потоке научной информации появляются результаты исследований, в которых сравнивается развитие растений при освещении специальным «агротехническим» спектром и обычным белым светом.

Большое, серьезное исследование влияния спектра освещения на рост различных сельскохозяйственных культур приводится в [2]. Сравнивались показатели растений, которые выращивались под следующими типами светильников:

- вариант 1 — с лампой ДНаЗ (разновидность ДНаТ со встроенным отражателем, направляющим свет в нужную сторону);
- вариант 2 — с белыми, янтарными и сине-зелеными;
- вариант 3 — с красными и белыми светодиодами;
- вариант 4 — с высококачественными белыми светодиодами, по спектру максимально приближенными к солнечному излучению.

При этом светильники имели одинаковую интенсивность излучения. Применительно к листовому салату «Тайфун» наибольшая продуктивность была достигнута именно для освещения высококачественными белыми светодиодами. Кроме этого, исследовались томаты сорта «Наташа». Для всех вариантов освещения выросли кусты примерно одинаковой высоты с одинаковым количеством плодов. Но средний вес одного помидора для высококачественных белых светодиодов составил 9,5 г, для варианта 1 он был 7,1 г, варианта 2 — 5,6 г, варианта 3 — 7 г. Следует обратить внимание, что освещение высококачественными белыми светодиодами дало лучшие результаты даже по срав-

нению с вариантом, в котором использовано сочетание красных и белых светодиодов.

В [3] сравнивается развитие укропа, петрушки и базилика под светодиодными светильниками трех видов: белого света, красные и белые светодиоды в пропорции 2:1, красные, белые и синие светодиоды в пропорции 2:2:1. Высота, количество листьев и масса в итоге оказались больше у растений, которые освещали белым светом.

Нормирование параметров

Если для обычного светильника показателем интенсивности излучения является световой поток, то применительно к агротехническим светильникам говорят о фотосинтетически активной радиации (ФАР). Это — оптическое излучение в диапазоне от 400 до 700 нм, используемое растениями для фотосинтеза, роста и развития. Единицей измерения является микромоль в секунду (мкмоль/с). Иногда ФАР измеряют в ваттах. Даже когда светильник дает белое свечение, если он будет использоваться для агротехнических применений, в его параметрах обязательно должна быть указана величина ФАР. Дело в том, что в рекомендациях по выращиванию растений обычно приводится значение ФАР, нормированное на единицу площади.

На момент написания статьи действовал ГОСТ Р 57671-2017 «Приборы облучательные со светодиодными источниками света для теплиц. Общие технические условия». В этом стандарте никак не нормируется спектр излучения, заданы лишь минимальные значения эффективности в области ФАР. Она определяется как отношение значения ФАР, выраженного в мкмоль/с, к мощности, потребляемой осветительным прибором. Эта величина должна быть не меньше 2 для приборов, предназначенных для освещения растений сверху, 1,8 — для междурядного освещения, 1,9 — для приборов, предназначенных для использования в многоярусных установках стеллажного типа.

Из других требований стандарта отметим степень защиты от пыли и влаги не менее IP54, а также коэффициент мощности не менее 0,92.

Пример агротехнического светильника с белыми светодиодами

В качестве примера рассмотрим отечественный светильник для теплиц АгроСвет WALLY FS-WMT-320-67-XY-900-ZZZ производства завода светотехники «ТЕРРА».



Светильник для теплиц АгроСвет WALLY FS-WMT-320-67-XY-900-ZZZ производства завода светотехники «ТЕРРА»

В нем использованы светодиоды компании Refond с CRI более 80.

Значение ФАР составляет 686 мкмоль/с, а потребляемая мощность — 320 Вт. Эффективность в области ФАР равна 2,14, что лучше показателя, установленного ГОСТ Р 57671-2017. Коэффициент мощности — более 0,95, что также превосходит требования указанного ГОСТ. Защита от пыли и грязи на уровне IP67 — и здесь требования ГОСТ светильник превосходит.

Выводы

За особым «агротехническим» спектром светильника зачастую стоят не научные исследования, а компромиссы при конструировании устройства. Светильники на основе белых светодиодов с высоким индексом цветопередачи обеспечивают лучшие показатели как по продуктивности, так и по качеству получаемой сельскохозяйственной продукции. Кроме этого, они более удобны с точки зрения обслуживания теплиц. В то же время не каждый светильник, дающий белый свет, пригоден для освещения растений. Наилучшие результаты дают именно светильники, специально разработанные для данного применения. ☞

Текст: **Алексей ВАСИЛЬЕВ**

ЛИТЕРАТУРА

1. Ichiro Terashima, Takashi Fujita, Takeshi Inoue, Wah Soon Chow, Riichi Oguchi. Green Light Drives Leaf Photosynthesis More Efficiently than Red Light in Strong White Light: Revisiting the Enigmatic Question of Why Leaves are Green // Plant & Cell Physiology, № 50 (4), 2009, p. 684–697
2. Кулешова Т. Э. и др. Особенности влияния спектра излучения на продуктивность и биохимический состав тестовых плодовых и листовых овощных культур // Журнал технической физики, 2022, том 92, вып. 7, с. 1060–1068
3. Макаров П. Н., Макарова Т. А., Самойленко З. А., Гулакова Н. М. Технология выращивания эфиромасличных культур в закрытых системах // Вестник Нижневартского государственного университета № 2, 2020, с. 53–56