Юрий Молодкин | yuriy.molodkin@ebv.com | Василий Зибаров | v.zibarov@osram.com

Светодиоды OSRAM в качестве источников света для выращивания растений

В эпоху активного развития инновационных систем освещения одна из интереснейших областей остается в нашей стране практически без внимания производителей как самих источников света, так и готовых решений — растениеводство. О нем и пойдет речь в данной статье.

Растениеводческое освещение можно разделить на три типа (рис. 1). Сфера применения подобных осветительных систем достаточно разнообразна, начиная от «простого» удлинения светового дня до полной замены естественного источника света — Солнца. Чтобы понять, как и за счет чего обеспечить благоприятные условия для роста растений, необходимо выделить основные параметры светового излучения, влияющие на их рост.

Во-первых, это интенсивность самого света. Данный параметр влияет на процесс фотосинтеза, в ходе которого идут химические процессы превращения CO_2 в углеводы [1, 2]. Основным показателем в растениеводстве, определяющим эту величину, является плотность потока излучения фотосинтетически активной радиации (ФАР), измеряющаяся в мкмоль/м^{2}с. Так, для выращивания томатов типовым значением плотности потока будет 185 мкмоль/м^{2}с, для перца — 100 мкмоль/м^{2}с [3]. Если мы рассмотрим цветы, то для некоторых сортов этот показатель и вовсе будет относительно невысок. Например, для выращивания розы в горшке или герани достаточно обеспечить уровень плотности потока излучения ФАР в 50 мкмоль/м^{2}с [3].

Второй параметр — световой период, т. е. время в течение суток, на протяжении которого растение освещается. Используя различные комбинации «дня» и «ночи» для разных видов культур, можно добиться значительного улучшения результатов, поскольку существуют растения «короткого дня», приспособившиеся в процессе эволюции расти в условиях длинной ночи, и растения «длинного дня», для которых предпочтителен продолжительный световой день [1].

Третьим важным условием является спектральный состав света. Спектр влияет на рост, формирование, развитие и цветение культур, т. к. различные длины волн по-разному воздействуют на растения. Так, например, длины волн 200–380 нм преимущественно вредны либо бесполезны, а все, что выше 1000 нм, попросту превращаются в тепло и не влияют на рост растения [1].

На рис. 2 представлены спектры поглощения растений, в которых выделены разным цветом хлорофилл («a» и «b»), фитохром (Pr и Pfr), а также

каротиноиды. Хлорофиллы «a» и «b» отвечают, в основном, за фотосинтез и определяют спектр фотосинтетически активного излучения (ФАИ), т. е. часть доходящей до биоценозов[1] солнечной радиации в пределах 400–700 нм. Спектр поглощения хлорофилла «b» более узкий, чем у хлорофилла «a». Каротиноиды[2], поглощая определенные участки солнечного спектра, передают энергию этих лучей на молекулы хлорофилла. Тем самым они способствуют использованию лучей, которые хлорофиллом не поглощаются. Также каротиноиды отвечают за накопление в растениях витаминов и красящих пигментов, что необходимо при выращивании растений с красными плодами, например томатов или перцев. Основным в культурных растениях является хлорофилл «a». Он берет на себя основную нагрузку по фотосинтезу в растении. Поэтому использование светодиодов со спектрами, подходящими по спектру хлорофиллу «a», является наиболее эффективным с точки зрения энергосбережения при использовании искусственного освещения. Наличие хлорофилла «b» является запасным механизмом в растениях. Его доля невелика, но при недостаточной освещенности количество хлорофилла «b» в растениях увеличивается. Это позволяет растению в условиях недостаточной освещенности усваивать свет из частей спектра, которые находятся ближе к зеленой области. Фитохромы[3] Pr и Pfr влияют, главным образом, на прорастание, распускание листвы и цветение [1, 2, 4]. Они являются своего рода триггерами, которые включают и выключают гормональные механизмы преобразования растений и изменения их состояния (запуск цветения, плодоношения и т. д.).

Одной из интересных особенностей фитохрома Pfr является эффект «избегания тени» растением. То есть при преобладании в освещении спектральной составляющей с длиной волны 730 нм, оно воспринимает эти условия как тень от другого растения, заслоняющего солнечный свет. Благодаря активации фитохрома происходит значительное увеличение длины, чтобы «выйти из тени». В результате мы имеем более высокие культуры, однако не обязательно с большей биомассой, что может быть полезно для выращивания, например, декоративных цветов. Если же использовать свет с преобладанием длины волны 660 нм, то растения воспринимают это как прямой солнечный свет и растут обычным образом [1].

Рис. 1. Типы растениеводческого освещения

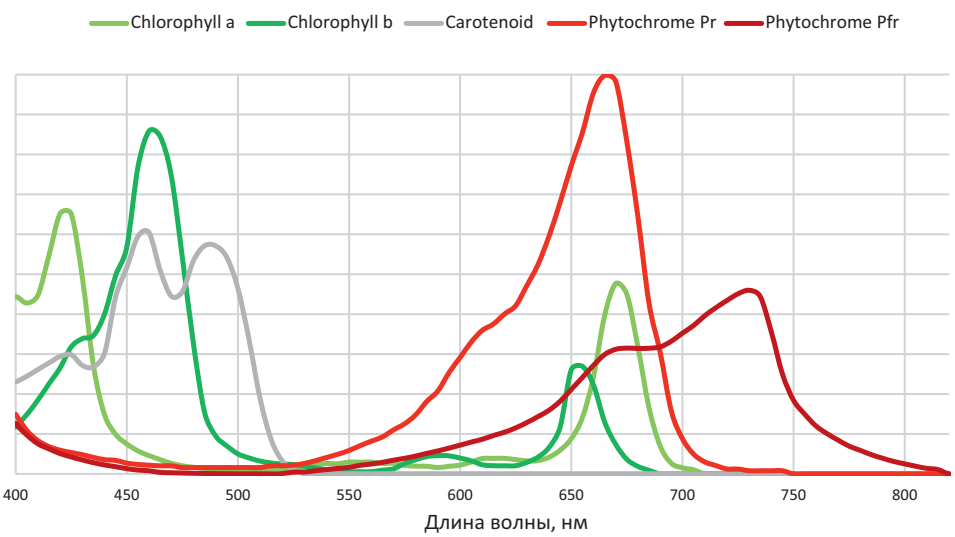

Рис. 2. Спектры поглощения растений

Предложения OSRAM для растениеводства

Для решения задач эффективного использования светодиодного освещения в растениеводстве и учитывая последние открытия в области воздействия света на рост растений, компания OSRAM Opto Semiconductor дополнила свой портфель цветных 1-Вт керамических светодиодов принципиально новым продуктом. Светодиод Oslon SSL Far Red (730 нм) был разработан специально для растениеводческого освещения. Данная длина волны находится на границе видимости человеческого глаза и не применяется для целей общего или декоративного освещения, но активно востребована в растениеводческом освещении. По сравнению с традиционным освещением лампами ДНАТ, спектр которых беден в области 730 нм, такие светодиодные системы имеют неоспоримое преимущество. Теперь светодиоды для всех трех важных длин волн предлагаются в корпусе одного типа, что позволяет унифицировать

[1] Биоценоз (от греч. βίος — «жизнь» и κοινός — «общий») — исторически сложившаяся совокупность животных, растений, грибов и микроорганизмов, населяющих относительно однородное жизненное пространство (определенный участок суши или акватории) и связанных между собой окружающей их средой.

[2] Каротиноиды (от лат. carota — морковь и греч. eidos —вид) — природные пигменты, синтезируемые бактериями, водорослями, грибами, высшими растениями, некоторыми губками, кораллами и др. организмами, которые обусловливают окраску цветов и плодов от желтого до красно-оранжевого.

[3] Фитохром — фоторецептор, сине-зеленый пигмент, существующий в двух взаимопревращающихся формах. Одна поглощает красный свет (λ ~660 нм), другая — дальний красный (λ ~730 нм). Поглотив свет, фитохром переходит из одной формы в другую. Этот пигмент играет важную роль в ряде процессов, таких как цветение и прорастание семян.

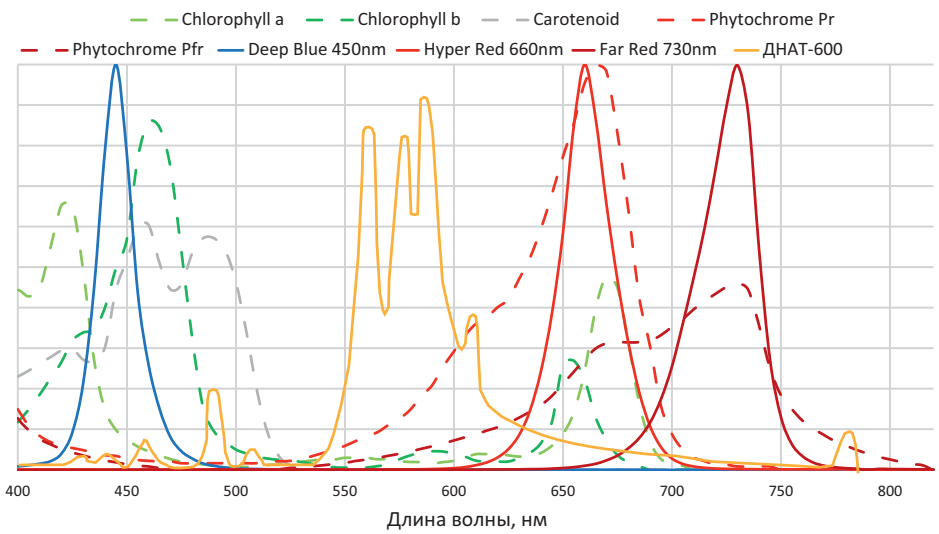

Рис. 3. Спектры поглощения растений и светодиодов OSRAM SSL (Deep Blue, Hyper Red, Far Red)

светильник, не прибегая к изменению конструкции, оптической системы или печатных плат. В настоящее время компании–производители светодиодных светильников расширяют ассортимент своей продукции, выпуская светильники для растениеводства на основе светодиодов OSLON SSL (рис. 3, таблица).

Таким образом, независимо от того, для выращивания какого типа культур изготавливаются светильники, благодаря универсальности и широкой цветовой гамме (включая «дальний красный») производитель всегда сможет подобрать необходимое соотношение светодиодов и найти правильный баланс длин волн.

Методики подбора источников освещения

Затрагивая тему соотношения светодиодов в светильнике для растениеводства, необходимо рассказать о так называемых спектральных весовых коэффициентах, благодаря которым существует возможность выбрать нужное соотношение источников света разных длин волн, опираясь на математический расчет. Дело в том, что до недавнего времени, да нередко и сейчас, встречается консервативный подход к подобного рода расчетам. Так, всем спектральным составляющим придаются равные весовые

Таблица. Ассортимент светодиодов OSRAM серии Oslon SSL colors

Цвет	Синий/Deep Blue	Голубой/Blue	Зеленый/True Green	Желтый/Yellow	Янтарный/Amber	Красный/Red	Темно-красный/ Hyper Red	«Далекий» красный/Far Red
Партномер	LD CQxP	LBCPxP	LT CPxP	LY CP7P	LA CPxP	LR CPxP	LH CPxP	GF CSxPM1
Длина волны, нм	449–461	464–476	513–537	583–595	612–624	620–632	646–666	730 (пиковая)
Угол первичной оптики, град	80/150							
Rth (тип.), К/Вт	7							
Макс. ток, А	1							0,7
Vf (тип.) при 350 мА, В	3,1		3,2	2,25	2,20	2,15	2,10	1,85

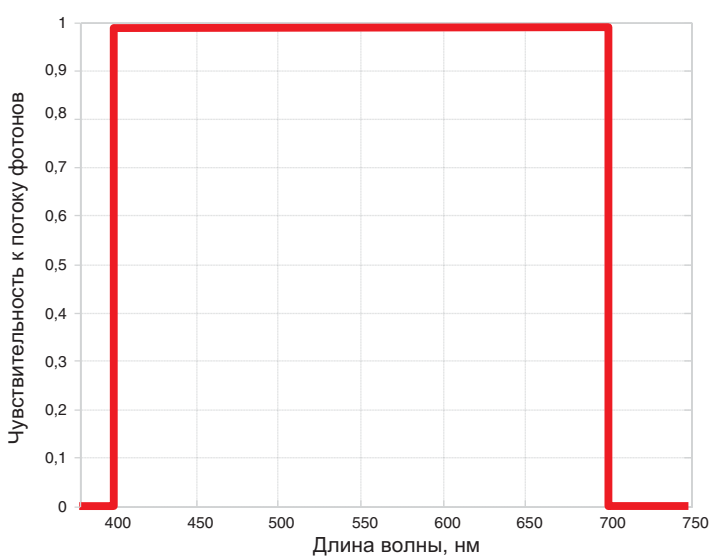

Рис. 4. Консервативный подход к выбору спектральных весовых коэффициентов

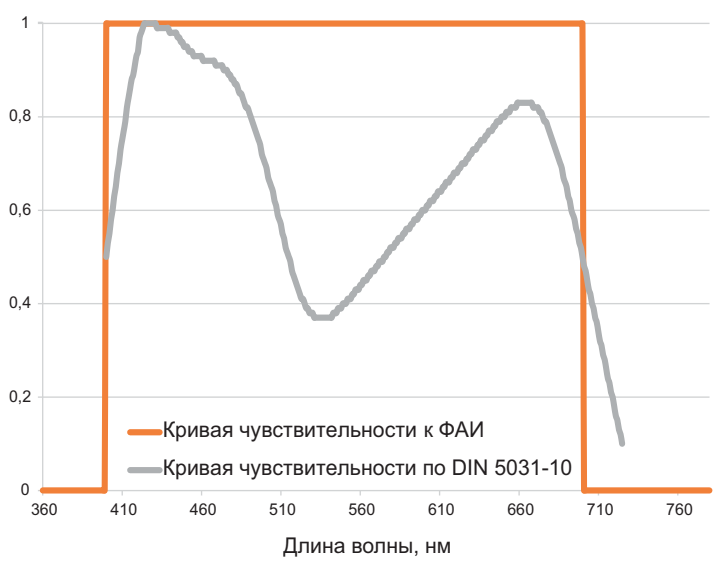

Рис. 5. Выбор спектральных весовых коэффициентов на основе DIN 5031-10

коэффициенты, а счет фотонов ведется в области ФАИ (рис. 4). В то же время более детальный подход заключается в том, чтобы использовать кривую чувствительности растения, приближенную к реальному спектру. Мы можем легко убедиться в этом, посмотрев еще раз на рис. 2. Такая «реалистичная» кривая описана в стандарте немецкого института по стандартизации DIN 5031-10 и выглядит так, как показано на рис. 5 [5]. Основываясь на этом принципе, можно путем инженерного расчета выбрать необходимое соотношение светодиодов в светильнике в зависимости от желаемых результатов и вида выращиваемых культур. В качестве примера выделим три типовые пропорции соотношения синего (Deep Blue) и красного (Hyper Red) цветов для светильника [6] (рис. 6–8).

Высокая эффективность		
Тип	**Длина волны**	**Доля в общей мощности**
LD Cxxx (Deep Blue)	450 нм	23%
LH Cxxx (Hyper Red)	660 нм	77%
Наивысшая спектральная эффективность (в мкмоль/Дж) достигается при воздействии излучением красных светодиодов с длиной волны 660 нм и добавлением в разумной пропорции излучением синих светодиодов с длиной волны 450 нм		

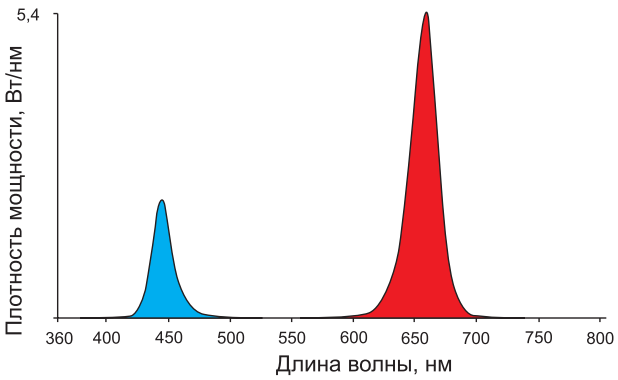

Рис. 6. Соотношение для достижения высокой эффективности

Вегетативный рост		
Тип	**Длина волны**	**Доля в общей мощности**
LD Cxxx (Deep Blue)	450 нм	50%
LH Cxxx (Hyper Red)	660 нм	50%
Соотношение, стимулирующие вегетативный рост, применяют для ускорения роста в условиях, когда визуальная оценка здоровья растения не важна (особенно при выращивании зелёных листовых овощей)		

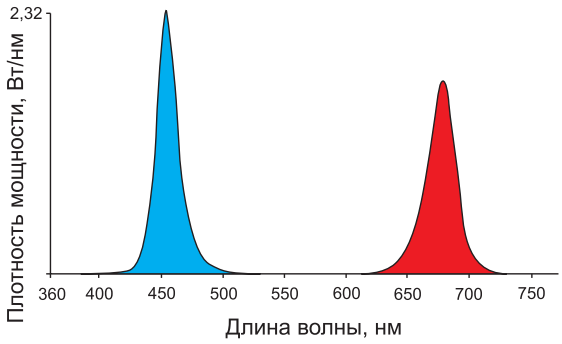

Рис. 7. Соотношение для стимулирования вегетативного роста

Выращивание саженцев		
Тип	**Длина волны**	**Доля в общей мощности**
LD Cxxx (Deep Blue)	450 нм	75%
LH Cxxx (Hyper Red)	660 нм	25%
Для выращивания саженцев рекомендуется воздействие светом с высоким содержанием синих составляющих		

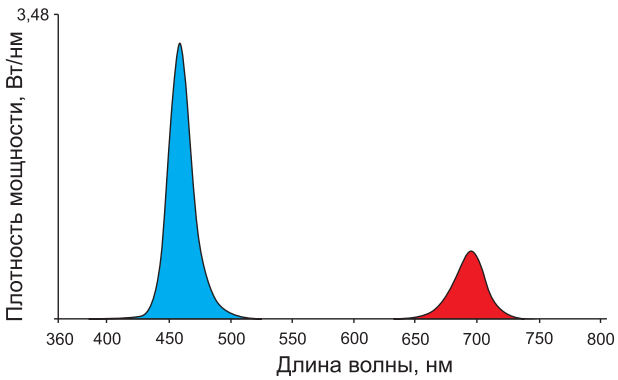

Рис. 8. Соотношение для выращивания саженцев

Рис. 9. Внутрицетозное светодиодное освещение

Необходимо отметить, что, помимо очевидного преимущества в точном подборе необходимых длин волн, на базе светодиодов можно реализовать освещение, когда сами светильники располагаются между листьями, т. е. «внутри» растения (рис. 9) [7]. За счет этого даже на нижнем ярусе листья получают больше света. По оценкам специалистов российских тепличных хозяйств, экономия светового потока может составлять в этом случае до 10%. В отличие от светильников с натриевыми лампами, которые размещаются обычно сверху из-за высокого тепловыделения, светодиодные светильники имеют относительно низкую рабочую температуру и поэтому не повреждают растения.

Также стоит обратить внимание на то, что широко применяемые сегодня натриевые лампы высокого давления (ДНАТ) имеют довольно высокую светоотдачу (>100 лм/Вт) в широком диапазоне длин волн. А поскольку растениям нужны лишь определенные, то такое измерение не совсем корректно. Такие лампы имеют критичный недостаток синего и «дальнего красного» цветов, в то время как желтый находится в избытке, что идет вразрез с потребностями растениеводства. К тому же срок службы таких ламп составляет порядка 10–15 тыс. ч. Инженерные расчеты показывают, что светодиодный светильник с согласованным спектром будет потреблять в два раза меньше мощности, чем светильник на лампе ДНАТ, при улучшении параметров роста растений.

Преимущества светодиодных систем

Во многих случаях уровень освещенности растений невозможно поднимать из-за экономических или технологических ограничений. В этих случаях светодиодные решения помогут решить проблемы тепличных хозяйств. Также достоинством светодиодных решений является возможность регулировки светового потока и спектрального состава освещения, недоступная для систем освещения на базе ДНАТ.

Немаловажный фактор для светодиодного освещения — это цена решения. Стоимость светодиодов непрерывно снижается, начиная с момента активного внедрения их в системы освещения. Как пример, в офисном освещении светодиодные светильники уже сравнялись по цене с традиционными системами. В области промышленного освещения мы тоже можем говорить о сравнении стоимости владения для светодиодных систем и систем на традиционных лампах.

В растениеводческом сегменте, с учетом поддержки отрасли государством, мы видим огромный потенциал для внедрения светодиодных систем, что приведет на данный рынок ведущих отечественных производителей и позволит в ближайшие годы значительно снизить стоимость светодиодных решений.

Как известно, одним из ключевых факторов снижения стоимости светодиодного решения является возможность длительной многолетней эксплуатации светильников без замены. Компания OSRAM OS всегда с особой внимательностью относится к сроку службы своих светодиодов, и проводит тесты надежности согласно стандартам, одним из которых является LM-80. Серия Olson SSL тестируется на токах 500 мА, что в 1,43 раза выше номинальных, и при трех различных температурах TS: +55, +85 и +118 °C. В этих жестких условиях после 10 000 ч постоянного горения светодиоды показывают деградацию по световому потоку в 10% (для +118 °C), что позволяет, используя аппроксимацию по TM-21, прогнозировать срок службы ориентировочно в 50 000 ч (по критерию L70, т. е. до достижения уровня светового потока 70% от начального) даже для такой экстремальной температуры. Рабочая температура светодиодов в светильниках составляет обычно около +55 °C, и падение светового потока после 10 000 ч работы составляет менее 5%, что дает возможность прогнозировать более 100 000 ч работы (L70) [8].

Помимо высокой надежности светодиодов и их экономичности, в сегменте растениеводческого освещения существует огромный потенциал для таких светильников еще и благодаря уникальной возможности использовать конкретные необходимые спектры в зависимости от выращиваемых культур, смешанные в строго необходимых пропорциях. Для этих целей компания OSRAM OS предлагает своим клиентам специальный калькулятор, получить который можно, обратившись к официальному глобальному дистрибьютору — EBV Elektronik.