

Светлана Маркова | Андрей Туркин

Особенности применения светодиодов в растениеводстве

Использование тепличных комплексов в аграрной промышленности позволяет не зависеть от капризов погоды, нашествий вредителей и прочих неблагоприятных факторов, сопутствующих выращиванию сельскохозяйственных культур на открытом пространстве. Представляя собой многоярусные помещения, такие комплексы требуют особого подхода к созданию освещения. В последнее время наблюдается рост интереса к применению в растениеводстве светодиодов. В статье рассматриваются процессы фотосинтеза, изложены результаты исследования влияния светодиодного света на качество выращиваемых агрокультур, приведены доводы «за» и «против» применения новых технологий.



Много уже было сказано о том, что современное общество не может существовать без искусственного освещения, подобное просто невозможно себе представить. Используя свет, люди создают нормальные условия для работы и учебы, улучшают условия быта. Без света не могут работать промышленные предприятия и транспорт, более того, без искусственного освещения не может обойтись современное городское хозяйство, в темное время суток нельзя выполнять строительные и сельскохозяйственные работы и т. д.

Свет все больше используется в технологических процессах в промышленности и сельском хозяйстве, становится неотъемлемой частью фотохимических производств, играет все возрастающую роль в повышении продуктивности животноводства и птицеводства, урожайности растительных культур [1, 2]. По мнению современных ученых, будущее развитие новых технологий связано именно с применением оптического излучения, причем в качестве источников света должны выступать светодиоды.

Роль фотосинтеза в природе

Важнейшая задача физиологии растений состоит в поисках возможности увеличения урожая [2]. Русский исследователь К. А. Тимирязев подчеркивал, что очень важно найти пути, чтобы «вырастить два колоса там, где растет один». Задача эта не только не потеряла свое значение, но стала еще более острой. Большая роль в данном вопросе отводится управлению фотосинтетической деятельностью растений.

Первые опыты по изучению фотосинтеза были проведены естествоиспытателем Джозефом Пристли (Joseph Priestley) в 70–80-х годах XVIII в., когда он обратил внимание на изменение воздуха в герметичном сосуде с горящей свечой — воздух переставал поддерживать горение, а помещенные в него животные задыхались. Исправлялась же ситуация при помощи растений [2]. Пристли сделал вывод, что растения выделяют кислород, который необходим для дыхания и горения, однако не заметил, что для этого растениям нужен свет, что вскоре показал Ян Ингенхауз [2].

Позже было установлено, что, помимо выделения кислорода, растения поглощают углекислый газ и при участии воды син-

тезируют на свету органическое вещество [2]. В 1842 г. Роберт Майер (Julius Robert von Mayer) на основании закона сохранения энергии постулировал, что растения преобразуют энергию солнечного света в энергию химических связей. Позднее, в 1877 г., данный процесс был назван фотосинтезом [2].

Предполагается, что в естественной среде в процессе фотосинтеза может использоваться не только солнечный свет, но и излучение других источников света, а потому он может происходить в местах, не подвергающихся прямому солнечному воздействию [2]. В 2005 г. Томас Битти (J. Thomas Beatty) из университета Британской Колумбии (University of British Columbia) и Роберт Блейкеншип (Robert Blakenship) из университета Аризоны (Arizona State University) в пробах, взятых в окрестностях глубоководного термального источника у побережья Коста-Рики (Мексика), обнаружили серобактерию GSB1, сходную с серобактериями родов *Chlorobium* и *Prosthecochloris*, содержащую бактериохлорофилл [2]. Они предположили, что GSB1 использует для фотосинтеза не солнечный свет, который не проникает сквозь слой морской воды толщиной около 2,4 км, а тусклый длинноволновый (~750 нм) свет, испускаемый гидротермальными источниками [2].

В основе фотосинтеза лежит превращение электромагнитной энергии света в химическую, которая дает возможность превращать диоксид углерода в углеводы и другие органические соединения с выделением кислорода. Этот процесс, являющийся одним из самых распространенных на Земле, обуславливает природные круговороты углерода, кислорода и других элементов, обеспечивает материальную и энергетическую основу жизни на нашей планете и является единственным источником атмосферного кислорода [2].

Таким образом, процесс фотосинтеза является основой питания всех живых существ, а также снабжает человечество топливом (древесина, уголь, нефть), волокнами (целлюлоза) и бесчисленными полезными химическими соединениями. Из диоксида углерода и воды, взятых из воздуха в ходе фотосинтеза, образуется около 90–95% сухого веса урожая [2]. Остальные 5–10% приходятся на минеральные соли и азот, полученные из почвы [2].

Управление фотосинтезом — наиболее эффективный путь воздействия на продуктивность и урожайность растений. Как уже говорилось в [2–4], русский исследователь К. А. Тимирязев доказал, что источником энергии для фотосинтеза служит преимущественно длинноволновая часть спектра (красные лучи), а влияние коротковолновой части (сине-зеленой) менее существенно. Для круглогодичного промышленного производства растительной продукции (овощей и цветов) в современной агротехнике широко используются тепличные комплексы (ТК) (рис. 1). Благодаря этому на полках магазинов круглый год, независимо от сезона, присутствует свежая зелень, помидоры и огурцы, к чему мы уже привыкли. Использование ТК позволяет не сетовать на плохую погоду, насекомых, птиц и различные стихийные бедствия. Одновременно это приводит к ряду технических проблем при конструировании и обслуживании данных хозяйств. Современные теплицы представляют собой многоэтажные комплексы, требующие специального освещения для увеличения урожайности культур (рис. 2).

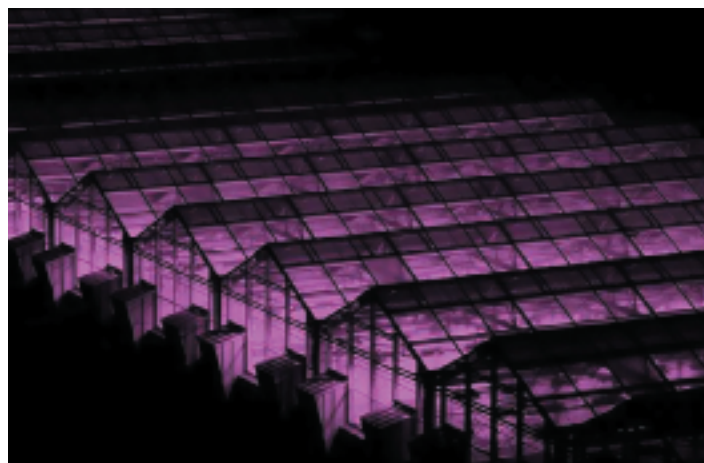


Рис. 1. Внешний вид современного тепличного комплекса

Преимущества светодиодного освещения и его влияние на качество растений

Благодаря физическим свойствам светодиодов (СД) светильники на их основе позволяют выращивать различные растения и собирать урожай в местах, где мало солнечного света [2–4]. Также их можно применять в садах с экзотическими растениями, которые требуют особого освещения. Они дают возможность заниматься разведением растений даже в самых не подходящих для этого местах.

СД дают возможность подобрать спектр света с той длиной волны, которая оказывает самое благоприятное действие на рост и плодоношение растений. Создаются самые благоприятные условия для фотосинтеза, агрокультуры растут быстрее и при этом становятся более здоровыми [2]. Применять такие светильники можно на любой стадии вегетации — цветении, плодоношении. Таким образом, выращивание растений и плодов становится доступным и менее затратным, да и вообще, применение светодиодов в сельском хозяйстве способно принести значительную выгоду, в первую очередь благодаря цветным СД [5].

Современные СД перекрывают весь видимый диапазон оптического спектра: от красного до фиолетового цвета. Диапазон длин волн излучения СД в красной области спектра составляет от 620 до 635 нм,



Рис. 2. Внутренний вид современного тепличного комплекса.

в оранжевой — от 610 до 620 нм, в желтой — от 585 до 595 нм, в зеленой — от 520 до 535 нм, в голубой — от 465 до 475 нм и в синей — от 450 до 465 нм. Таким образом, составляя комбинации из СД разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне [3–5]. Это обеспечивает особые преимущества для растениеводства, поскольку, в отличие от традиционных источников света, таких как лампы накаливания (ЛН) и газоразрядные лампы (ГРЛ), СД можно подобрать по спектру излучения под полосы поглощения хлорофилла в растениях. Благодаря определенной длине волны, линейной (до определенных значений) зависимости выхода излучения от протекающего тока, меньшей мощности и, как следствие, снижению потребляемой электроэнергии и выделению меньшего количества тепла, светодиоды содействуют здоровому развитию растений. Они не только являются экономически эффективным решением, но и повышают возможность сельхозпроизводителей контролировать этот процесс.

Чтобы удовлетворить растущий потребительский спрос на свежие овощи в межсезонье, парники нуждается в дополнительном свете. В настоящее время производители овощей стали все чаще выбирать светодиодное освещение в качестве альтернативы натриевым лампам высокого давления (НЛВД) ввиду их малого энергопотребления и высокой эффективности.

Недавние исследования открыли новые факты о целесообразности использования СД в процессе выращивания парниковых томатов [2]. Изучалась способность светодиодного освещения влиять на фотохимические свойства и вкус плодов различных дорогостоящих сельскохозяйственных культур. Ученые провели три отдельных эксперимента, чтобы определить влияние количества и вида света на помидоры, выращиваемые в парниковых условиях (рис.3). Растения были выращены при естественном солнечном свете (только контроль), в сочетании природного солнечного света и дополнительного освещения от НЛВД и в сочетании природного солнечного света с дополнительным светом от светодиодных светильников красного и синего спектра. Фиксировалось множество показателей, включая органолептические, которые определялись дегустаторами. Им было предложено оценить цвет томатов, аромат, текстуру, сладость, «кислинку», послевкусие и составить общее впечатление, используя пять баллов по шкале гедонического удовольствия. Собранные физико-химические и органолептические данные, исследователи смогли определить, влияют ли статистически значимые физико-химические свойства плодов томатов на восприятие потребителями их качества. По результатам стало понятно,

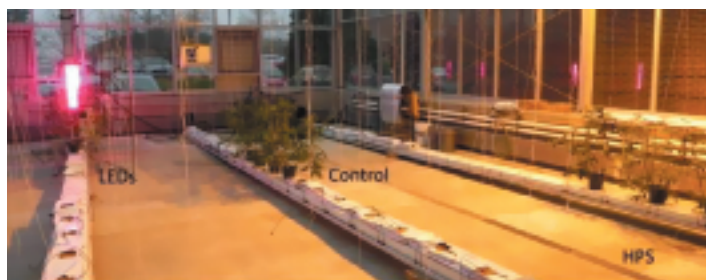


Рис. 3. Иллюстрация эксперимента по определению влияния количества и вида света на помидоры, выращиваемые в парниковых условиях.

что дегустаторы на испытательных образцах не могли различить помидоры, выращенные при различном освещении [2].

Вопреки начальным предположениям, оказалось, что их качество также не зависит от типа освещения как такового в целом. Физико-химические измерения показали только незначительные отклонения в плодах, выращенных в различных световых условиях. Поэтому можно предположить, что результаты проведенных исследований очень перспективны для производителей томатов, заинтересованных в сокращении энергопотребления в теплицах.

Об экономической эффективности применения светодиодов говорилось уже довольно много, были озвучены различные оценки. В качестве примера приведем расчет, сделанный для теплицы одного из агрокомбинатов, находящихся в Московской области [3], где предполагалось провести замену имеющихся светильников с лампами ДНаТ 600 Вт на светодиодные светильники с потребляемой мощностью 166 Вт. СД-приборы подбирались в соответствии с результатами исследований влияния различного освещения на рост агрокультур, а модульная конструкция светильников, отличающаяся простотой и надежностью, предусматривает их использование для разных типов теплиц [3].

Главным преимуществом светодиодного освещения для данного проекта можно назвать подбор практически идеального для роста растений спектра излучения [2, 3]. Также стоит отметить малое энергопотребление СД: ориентировочно при идентичных светотехнических характеристиках один светодиодный светильник потребляет в три раза меньше электроэнергии по сравнению с типовым светильником с лампой ДНаТ. При всем этом СД имеют длительный срок службы, чем обеспечивается более продолжительный срок эксплуатации [3, 4]. Следует также упомянуть экологическую чистоту и отсутствие проблем с их утилизацией. Данные особенности связаны с тем, что в составе СД нет вредных веществ. Помимо этого, при эксплуатации они не нагреваются так сильно, как ЛН, что облегчает поддержание требуемых климатических условий при выращивании растений [2].

Особо стоит отметить, что в осветительных системах на СД можно использовать подсистему управления, на которую могут быть возложены несложные функции контроля состояния светильников, обеспечения режимов управления включением и выключением в зависимости от сезона, времени суток, конфигурации задействованных площадей, требуемого спектра излучения и т. п. Такие подсистемы могут быть как автономными, так и входящими в состав централизованной системы автоматизации теплицы [3, 4]. На их базе возможно решение вопросов подбора светильников с требуемыми спектрами и изменения их суммарных спектров с течением времени, а также регулирования мощности излучения в соответствии с протекающими биологическими процессами в ходе оптимизации режимов освещения с целью получения определенных свойств растений.

Существующие ограничения

К недостаткам светодиодного освещения можно отнести относительно большие размеры светильников, что продиктовано стремлением добиться высокой интенсивности излучения за счет большего количества светодиодов, и сравнительно высокую стоимость на первоначальном этапе. Первый недостаток не является критичным для тепличных объектов традиционной конструкции и в условиях современных автоматизированных теплиц, а второй

компенсируется коротким сроком окупаемости и достаточно долгим сроком эксплуатации светильников после этого, уже в условиях полностью возвращенных затрат на приобретение и нарастающей экономии за счет низкого энергопотребления [2–4].

Системы освещения на основе ЛН представляются недорогими, однако они могут перегревать растения, растрачивать энергию и предлагают ограниченные красный и синий цвета, необходимые для вегетации и здоровья растений.

Системы, в которых в качестве источников света используются галогенные лампы (ГЛ), очень близкие к спектру солнечного света и отличающиеся более длительным сроком службы, чем ЛН, также недостаточно эффективны из-за перегрева. Они могут излучать свет только в узкой области и, в конце концов, сжигают или повреждают растения, обеспечивая слишком много света в одних областях и недостаточно в других [2].

Люминесцентные лампы (ЛЛ) популярны, но им не хватает интенсивности в красной части спектра, необходимой для цветения растений. Люминесцентные системы с более широким спектром свечения требуют специальных приспособлений, что повышает их стоимость, делая неэффективными [2].

НЛВД и металлогалогенные лампы (МГЛ) являются примером ГРЛ высокой интенсивности, лидера в области освещения растений. Поскольку НЛВД излучают свет преимущественно в длинноволновой (красной) области спектра, они превосходят МГЛ или ЛЛ, но растения оказываются слабыми и истощенными из-за низкой интенсивности света в коротковолновой (синей) области спектра. Кроме того, для получения красного и синего цветов должны быть объединены два типа ламп [2].

Несмотря на то, что популярность СД-систем освещения в агротехнике растет в геометрической прогрессии, они все еще имеют ограничения по излучаемым длинам волн, что не обеспечивает оптимальное для роста растений поглощение фотонов и, следовательно, приводит к потере энергии [2]. В современных системах выращивания растений использована комбинация красных и синих светодиодов, что стимулирует поглощение и усиливает рост растений. Однако это требует применения нескольких полупроводниковых светильников с различными длинами волн. Единичный СД с красным излучением не оптимизирован для повышения эффективности, он только предоставляет теплый свет для конкретных растений, а также на репродуктивных стадиях роста. Протяженные источники света могут выдавать сочетание чередующихся красного и синего СД. Тем не менее сельхозпроизводители вынуждены размещать светильники достаточно далеко от растений, чтобы свет разного цвета смешался и каждое растение получило правильное соотношение синего и красного. Из-за этого повышается энергопотребление и имеет место неэффективное распределение света [2].

В определенном смысле эту проблему можно решить применением в СД узкополосных люминофоров [2]. Люминофоры в стандартных СД имеют широкие спектры излучения. Они различаются длиной волны, из-за чего растения не получают одинаковые спектры. Новая же технология узкополосного люминофора, доступная на рынке в настоящее время, слишком дорогостоящая, к тому же она пригодна только для дисплеев. Вследствие большого допущения по параметрам излучения СД полоса излучения может сдвигаться от образца к образцу, что не способствует максимальному покрытию полосы поглощения [2].

Применение новых технологий в светодиодном освещении растений

Новая технология с уникальными оптическими свойствами готова взять на себя задачу обеспечения точного спектрального соответствия источника света «нуждам» растения. Бескадмиевые квантовые точки позволяют излучать точно заданную длину волны, что обеспечивает четкий и концентрированный свет для вертикальных систем выращивания. Установка размера этих наночастиц позволяет настраивать свет, испускаемый системой СД, на любой цвет в спектре при сохранении энергетической эффективности СД [2].

Преимущество квантовых точек, действующих в качестве узкополосного красного люминофора, заключается в том, что они обеспечивают производителям цвет высшего качества без больших потерь эффективности по сравнению с использованием обычного люминофора. При их возбуждении внешним источником света они поглощают энергию и, в зависимости от размера частицы, излучают свет разного цвета. Например, синие светодиоды возбуждают красные и зеленые бескадмиевые квантовые точки, в результате чего получается белый свет высокого качества (рис. 4) [2].

Поскольку бескадмиевые квантовые точки можно легко настроить на любой цвет спектра, они стали настоящим прорывом в освещении растений по сравнению с традиционными светодиодными светильниками [2]. Кроме того, квантовые точки, не содержащие тяжелых металлов, полностью соответствуют RoHS. Они обеспечивают все преимущества этой технологии, реализуемые в безопасном и более экологичном изделии. Они доступны различных размеров и форм, предназначены для работы в сочетании с СД, имеющими длину волны в диапазоне 405–455 нм (рис. 4) [2].

Для освещения растений тонкая пленка бескадмиевых квантовых точек может представлять собой оптимальное решение. Эти нетоксичные высокоэффективные материалы легко использовать в различных форматах светодиодного освещения на этапах размножения и вегетации растений. Они могут быть изготовлены таким образом, что отношение синего и красного излучения будет изменяться в зависимости от пленки, что опять же прекрасно подходит для различных видов и стадий роста растений [2].

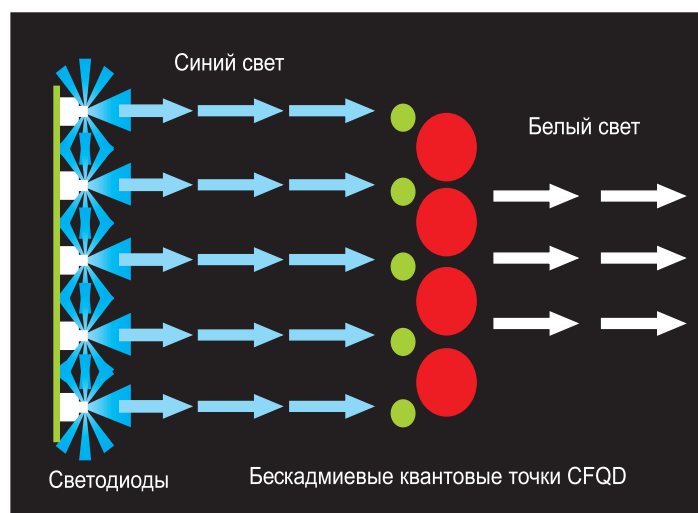


Рис. 4. Светодиодный источник света с квантовыми точками

Пленки бескадмиевых квантовых точек легко интегрируются в существующие светодиодные изделия, что позволяет настраивать индивидуально подобранный цвет, основываясь на потребностях конкретного растения. Преимущество использования пленки заключается в том, что квантовые точки имеют широкую полосу поглощения, и потому любой синий светодиод с длиной волны 430–460 нм будет возбуждать пленку. Таким образом, обеспечивается экономичное и простое решение для производителей систем освещения растений. Кроме того, применение только синих СД в качестве источника света значительно снижает сложность светильника, облегчает сборку и т. д.

Заключение

Приведенные результаты указывают на актуальность применения светодиодных светильников для освещения растений. Преимущества СД делают их применение эффективным с разных сторон. Возможность управлять интенсивностью излучения, причем относительно легко — путем изменения тока, позволяет регулировать интенсивность разных цветов в светодиодном светильнике и таким образом подбирать его спектр в зависимости от конкретного этапа развития растения. Современные теплицы представляют собой сложные технические комплексы, в большей части роботизированные. Управление ими осуществляется при помощи автоматизированных систем, в которые достаточно органично можно добавить и управление освещением, причем как по интенсивности, так и по спектральному составу излучения, и производить такие управляющие операции по программам, учитывающим фазу развития растений. СД, в отличие от ламп, не являются хрупкими, поэтому устройства на их основе могут быть

вандалоустойчивыми, в их составе нет ядовитых веществ, а возможность низковольтного питания делает их пожаробезопасными. В пользу применения СД выступают также их конструкционная прочность, надежность, большой ресурс, экологичность.

Проведенные исследования подтверждают, что будущее освещения теплиц за светодиодными светильниками, а начинать использовать такие светильники можно уже в настоящий момент.

Кроме того, стоит также сказать, что до недавнего времени сельхозпроизводители не имели возможности точно настраивать свои светодиодные системы для различных видов растений или стадий роста. Теперь такая возможность появилась, и можно предположить, что с введением бескадмиевых квантовых точек пришла новая волна технологий светодиодного освещения. ●

Литература

1. Справочная книга по светотехнике. Под ред. Ю. Б. Айзенберга. 3-е издание. М.: «Знак», 2006.
2. С. Н. Маркова, А. А. Персидская, А. Н. Туркин. Применение светодиодов в растениеводстве: реальность и перспективы. В сб. «Наука и инновации в современном мире: техника и технологии». Одесса, 2017.
3. И. Бахарев, А. Прокофьев, А. Туркин, А. Яковлев. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц: реальность и перспективы // СТА. 2019. № 2.
4. А. Прокофьев, А. Туркин, А. Яковлев. Перспективы применения светодиодов в растениеводстве // Полупроводниковая светотехника. 2010. № 5.
5. А. Туркин, М. Червинский. Новые цветные светодиоды компании Cree: особенности и перспективы использования // Полупроводниковая светотехника. 2015. № 6.