

## СВЕТ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ ЦВЕТОВОДСТВА

Панфилова О.Ф.

*Российский государственный аграрный университет-МСХА  
имени К.А. Тимирязева,  
Москва, Россия, e-mail: panfilova.of@yandex.ru*

В статье представлен обзор публикаций последних лет по использованию регулирования световой среды для повышения эффективности цветоводства за счёт качества продукции. Рассматриваются наиболее важные характеристики световой среды – плотность потока фотосинтетических фотонов, фотопериод, спектральный состав света. Их строгая регулировка обеспечивается использованием светоизлучающих диодов. В отношении объектов материал в основном касается горшечных цветущих и декоративно-лиственных растений, а также рассады цветочных культур и срезки цветов. В регулировании габитуса растений особое значение имеют высота и образование боковых побегов. Показано преимущество использования полихроматических светодиодов перед монохроматическим светом. Обращается внимание на значение зелёного света и соотношения красного и дальнего красного света в спектре освещения. При изучении вопросов индукции цветения рассмотрены пути восприятия и передачи сигнала при благоприятном фотопериоде и влияния качества света на реакцию растений при прерывании ночного периода. Основная часть обзора посвящена значению световой среды в физиолого-биохимических процессах и генетической регуляции окраски цветков, пёстролистности декоративно-лиственных растений, участию антиоксидантных систем в стрессоустойчивости и долговечности продукции. Рассматривается прямое и косвенное действие света на патогены. Показана особая роль синего света в накоплении антоцианов и активности антиоксидантных ферментов. В заключении отмечается перспективность использования света для получения качественной продукции цветоводства и снижения нагрузки на окружающую среду пестицидами.

**Ключевые слова:** цветоводство, светодиоды, декоративные качества, фотосинтез, фоторегуляция, антиоксиданты, старение, долговечность.

**Введение.** Цветоводство может иметь существенный вклад в экономику страны. Мировой рынок цветов и декоративных растений в 2022 году составил 52 384,85 млн долларов США и, ожидается, что среднегодовой темп роста в ближайшие 5 лет составит 7,28 %. Доля Европы составляет около 47 %, Азиатско-Тихоокеанского региона – 20 %, США – 13,5 % [34]. В настоящее время наша страна наращивает производство горшечных культур и цветов на срез. Но цветоводство России, как и во всем мире, сталкивается с многочисленными проблемами, связанными с изменением климата,

удлинением логистических цепочек, конкуренцией, растущими энергетическими затратами производства, потерями в цепи распределения продукции. Стоит задача повышения урожайности и качества продукции при одновременном снижении производственных затрат и антропогенного воздействия на среду. Одним из путей решения является совершенствование технологий защищённого грунта с использованием искусственного освещения как в виде дополнительного источника энергии при дефиците солнечного излучения, так и в качестве единственного источника света, обеспечивающего энергию для фотосинтеза, регуляцию морфогенеза и цветения. Для растения наиболее важными характеристиками света являются интеграл суточной радиации, его составляющие – плотность потока фотосинтетических фотонов и фотопериод, а также спектральный состав света. Варьируя этими параметрами, можно регулировать сроки и обильность цветения, контролировать габитус растений, форму и окраску листьев, окраску цветков, продлить сезон производства, повысить устойчивость к патогенам и долговечность продукции.

До недавнего времени в защищённом грунте широко использовались газоразрядные и люминесцентные лампы, отличающиеся высокой затратами энергии в результате выделения тепла и ограниченной возможностью регуляции спектрального состава света. Уникальное преимущество имеют технологии светоизлучающих диодов (LED). Их энергоэффективность, надёжность, компактность, длительный срок службы, безопасность представляют несомненную коммерческую и экологическую ценность. Что особенно важно, они дают возможность обеспечить оптимальные условия для фотосинтетической активности и биохимических процессов, контроля роста и развития растений. Как всякие тонкие технологии, LED нуждаются в глубоком изучении и научном обосновании. Настоящий обзор посвящён в основном современному состоянию вопроса регуляции световой среды получения горшечной продукции. Влияние условий освещения на срезку цветов представлено в предыдущем обзоре [2]. При этом внимание уделяется также скрытому качеству, особенно важному для цветочной продукции. Если соответствие сорту по размерам и окраске, отсутствие видимых признаков повреждения хорошо заметны, то способность сохранять декоративные качества, устойчивость к механическим воздействиям, чувствительность к недостатку влаги, температурным стрессам, инфекциям могут не совпадать с хорошими показателями видимого качества.

***Габитус декоративных растений.*** Для горшечной культуры и рассады компактность формы имеет особое значение. Поэтому важная задача состоит в предотвращении вытягивания растений. Условия

освещения являются мощным фактором регулировки линейного роста, ветвления, формирования листового аппарата, которые определяют физиологическое состояние растений и внешний вид. Выращивание рассады однолетних цветочных культур обычно приходится на зимний и весенний период с низким уровнем фотосинтетически активной радиации, поэтому для получения высоких товарных характеристик и хорошей приживаемости требуется искусственное освещение. Детальное исследование влияния разного соотношения синего, зелёного и красного монохроматического света диодов на формирование рассады недотроги (*Impatiens walleriana*), шалфея (*Salvia splendens*), петунии (*Petunia × hybrida*) и томатов (*Solanum lycopersicum*) выявило некоторые общие закономерности и видовые особенности растений в реакции на спектральный состав света [35]. При потоке фотосинтетических фотонов (PPF)  $160 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$  и фотопериоде 18 ч растения, выращенные при 25 % или более синего света, были на 41–57 % короче, чем растения, выращенные только при красном свете. Растения, выращенные на красном свете, имели на 47–130 % большую площадь листьев и на 48–112 % большую массу свежих побегов, чем растения, выращенные при освещении 25 % или более синего света. Растения, выращенные только на красном свете, имели массу свежих побегов, аналогичную таковой при выращивании под флуоресцентным белым светом у всех видов, кроме томатов. У недотроги синий свет индуцировал появление цветочных бутонов. Обычно привлекают внимание исследователей синие и красные участки спектра как наиболее важные для фотосинтетической деятельности и регуляторной активности. Тем не менее, накапливается всё больше данных о значении зелёного света в растениях. В настоящем исследовании показано, что растения имели одинаковую сырую массу при 25 % или 50 % зелёного света с растениями только на синем свете. Таким образом, по крайней мере 25 % зелёного света в спектре могут заменить 25 % синего для изученных культур при обеспеченной PPF. Принято считать, что синий свет способствует накоплению в листьях хлорофилла. Однако в данном исследовании концентрация хлорофилла была относительно высокой у шалфея и томата при флуоресцентном освещении и относительно низкой при всех других обработках, за исключением вариантов красного и 50 % синего + 50 % зелёного для шалфея. Вероятно, это связано с достаточно высоким уровнем прихода фотосинтетической радиации.

Вытягивание растений в рассадный период связано с реакцией избегания тени, которая может быть вызвана уменьшением отношения красного и дальнего красного света, уменьшением PPF или тем и другим. При

этом уменьшение PPF может быть связано как со снижением прихода световой энергии, так и с уменьшением количества синего света, который также является сигнальным фактором в реакции избегания тени. Проведённое исследование взаимодействия PPF и дальнего красного света при постоянной плотности потока синих фотонов с различными фотопериодическими и теневыносливыми растениями (петуния, герань, колеус) показало, что по мере снижения отношения красный : дальний красный свет длина стебля у всех видов увеличивалась. Уменьшение соотношения увеличивало площадь листьев у петунии и увеличивало сухую массу побегов у петунии и колеуса. При постоянной плотности синих фотонов увеличение доли дальнего красного света способствует удлинению стебля и увеличению площади листьев, а также последующему накоплению сухой массы независимо от PPF. Однако для цветения длиннодневной петунии стимулирующий эффект низкого R : FR выше при более низком PPF [31].

Производство горшечных культур в зимний период лимитируется относительно низкой интенсивностью естественного освещения и коротким днём. Ведётся поиск эффективных приемов досвечивания. У миниатюрных растений *Rosa × hybrida* сорта 'Aga' при дополнении к естественному пяти различных видов светодиодного освещения: белого, синего, красного, красного с высоким и низким соотношением с дальним красным выявлены существенные отличия по ростовым характеристикам и темпам развития от контрольного варианта с естественным солнечным освещением [23]. Растения выращивали при PPFD 200 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> и фотопериоде 18 ч. Влияние условий досвечивания было заметным уже после одной недели светодиодного освещения. Через 6 недель растения, выращенные под дополнительным широким спектром, включающим белый, синий, красный и дальний красный свет, были на 27 % выше, чем контрольные, на 18 % выше, чем под дополнительными белыми светодиодами и на 9 % выше, чем под дополнительными монохроматическими красным или синим. Наибольшую длину побегов имели растения при красном свете и дальнем красном свете как при низком, так и высоком их соотношении. Красный монохроматический свет и в сочетании с дальним красным при высоком их соотношении стимулировал образование дополнительных побегов и адвентивных бутонов. Содержание хлорофиллов не зависело от спектра дополнительного света, излучаемого светодиодами. Ранее было показано, что у розы сортов 'Avalanche' и 'Radrazz' содержание хлорофилла значительно снижается при монохроматическом синем свете и увеличивается при красном или белом [9]. Эти различия могут быть вызваны морфологией листа, анатомией мезофилла, а

также количественными характеристиками световой среды – интенсивностью света и длиной фотопериода. Несмотря на отсутствие различий в содержании хлорофилла спектральный состав света отразился на максимальном квантовом выходе ФС II. Самым высоким он был при многоволновом облучении и самым низким при монохроматическом освещении. Таким образом, максимальная квантовая эффективность фотохимии ФС II оказалась более чувствительным параметром, характеризующим условия освещения, чем содержание фотосинтетических пигментов.

В закрытых помещениях, таких как отели, торговые центры, киноконцертные залы и библиотеки интенсивность света обычно не достаточна для поддержания декоративной ценности горшечных растений и раскрытию бутонов. Недостаток света приводит к преждевременному старению листьев, сопровождающемуся разрушением хлорофилла, снижением фотосинтетической активности и накоплением сахаров. Известно, что сахара являются не только важнейшими пластическими материалами, но и контролируют биосинтез, транспорт и передачу сигналов фитогормонов, в том числе ауксинов и цитокининов. Сахароза идентифицирована как ранний модулятор ключевых гормональных механизмов, контролирующих мобилизацию запасов углеводов и развитие бутонов у розы [8]. Отсутствие раскрытия бутонов розы в горшечной культуре может быть объяснено неспособностью почек мобилизовать собственные резервы. Эффективным приёмом поддержания функциональной активности горшечных растений в закрытых помещениях является досвечивание. При этом обычно используют нисходящий свет от укрепленных над растениями светильников, которые занимают много места. Yamori N. с соавторами [36] выращивали миниатюрные горшечные розы в помещении при тусклом свете в течение двух недель без дополнительного освещения, с направленным вниз и направленным вверх светодиодным освещением. Определяли показатели фотосинтетической активности листьев разных ярусов, соотношение раскрытых и отмерших бутонов. В отсутствии дополнительного освещения наблюдалось отмирание листьев и бутонов. При верхнем нисходящем освещении не было проблем с раскрытием бутонов, но наблюдалось старение и отмирание нижних листьев. При восходящем освещении развилось несколько меньшее количество цветков, но нижние листья характеризовались ярко зелёной окраской, имели более высокую скорость ассимиляции диоксида углерода и активность фермента рубиско. Учитывая, что восходящее освещение не требует дополнительного места для осветительного оборудования, нижнее освещение может быть эффективным вариантом выращивания комнатных растений.

**Регулирование цветения.** Переход к цветению как ответственный момент завершения ювенильного этапа развития и приобретения репродуктивной способности находится под двойным контролем – автономным или физиологическим и экологическим. Сложная сеть генетических путей обеспечивает интеграцию внутренних и внешних сигналов. Из внешних сигналов, обеспечивающих синхронизацию жизненного ритма с изменениями в окружающей среде, наиболее распространёнными являются реакции на длину дня (фотопериодизм) и низкие температуры (яровизация у луковичных). По отношению к фотопериодическим требованиям декоративные культуры делят на растения длинного дня (ДД), короткого дня (КД) и нейтральные (НД). Индуцирующим цветение является критическая длина ночи. В фотоперцепции длины дня участвуют фитохромы, реагирующие на красный и дальний красный свет, криптохромы, поглощающие преимущественно синий и УФ-А свет, и фитотропины (PHOT), ZTL/FKF1/LKP2 и UVR8, которые в основном поглощают УФ-В свет. Синий и дальний красный свет, как правило, эффективны для стимулирования цветения ДД-растений.

Изучение влияния качества света на рост и индукцию цветения у петунии (*Petunia hybrid*) сорта 'Vaccarat blue' показало, что при PPF 100 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> и фотопериоде 14 ч под красным светодиодом растения на 53-й день имели высоту побегов на 60 % выше и более мощное развитие листового аппарата, чем при освещении синим светом. Однако под воздействием красного светодиода закладка цветочных почек не происходила. Экспрессия *SOC1*-подобного гена *FBP28*, одного из ключевых генов индукции цветения, у петунии менялась в зависимости от качества света. Под белым флуоресцентным светом и синим светодиодным светом уровни транскрипта *FBP28* демонстрировали суточный ритм. Уровни транскриптов повышались в утренние часы и оставались высокими в период освещения. Экспрессия *FBP28* была ниже при воздействии красного светодиода в течение периода освещения. Синий светодиодный свет, а также синяя часть спектра белого флуоресцентного света также могут индуцировать *FBP28* и индукцию цветения, по сигналу от криптохромоподобных фоторецепторов [14].

У цикламена (*Cyclamen persicum*) сорта 'Dixie White' было установлено положительное влияние смешанного синего и красного светодиодного облучения при 10-часовом фотопериоде на индукцию цветения, количество бутонов и раскрытие цветков. Отдельно монохроматический красный или синий свет такого эффекта не имели. Выращивание под красными светодиодами увеличивало период цветения до 40 дней [16].



Представляет интерес влияние зелёного света на фотопериодическую реакцию. Meng Q. и Runkle E.S. [24] провели исследование на 4 видах длиннодневных и 2 видах короткодневных растений при 9-часовом коротком дне с 7-часовым дополнительным освещением 0, 2, 13, 25 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> зелёным светом (пик 521 нм) или полихроматическим (красный + белый + дальний красный). Увеличение плотности потока зелёных фотонов ускорило переход к цветению у всех видов ДР (2 сорта петунии, агератум, львиный зев, арабидопсис) и замедляло цветение КД (три сорта хризантем и бархатцы). Петуния цвела одинаково при досвечивании смешанным светом и умеренном зелёном свете, но была короче и развивала больше побегов при зелёном свете. Чтобы быть столь же эффективным, как полихроматический свет, PPF зелёного составляла 2 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> для агератума (ДД) и бархатцев (КД) и 13 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> для петунии (ДД). Львиный зев оказался наименее чувствительным к зелёному свету. Авторы делают вывод о возможном применении 7-часового дополнительного освещения зелёными светодиодами для контроля цветения фотопериодических декоративных растений.

Регулирование фотопериода широко используется при круглогодичном выращивании с цветением к определённому сроку. Традиционным является зашторивание растений для сокращения длины дня. Однако короткий день приводит к уменьшению времени фотосинтеза и не обеспечивает накопление достаточной вегетативной массы, что снижает декоративные качества горшечной культуры. Поэтому продолжается поиск путей изменения светового режима длинного дня для включения сигнала закладки цветочных органов. Особенно интенсивно ведутся работы на коммерчески и декоративно важной хризантеме (*Chrysanthemum morifolium* Ramat.), которая является облигатным растением короткого дня (КД), для которого абсолютно необходима длинная ночь сверх определённого критического уровня. На горшечной культуре хризантемы сорта 'Gaya Glory' проведено изучение эффективности досветки синим светом на длинном дне [37]. В качестве контрольных вариантов использовано выращивание растений на коротком дне (10 ч) и длинном дне (13 ч). Изучалось влияние 4-часового циклического досвечивания синим светом после 13-часового длинного дня (13 ч + 4 °С) в течение 60, 30, 15, 10 и 7 суток. Досвечивание синим светом в течение 30 и 60 дней увеличивало содержание хлорофилла, количество растворимых сахаров, белков и антиоксидантов, накопление сухой массы и снижало длину побегов по сравнению с растениями, выращенными при белом свете. Эти режимы оказались оптимальными для раннего заложения бутонов и увеличения количества цветков на растении.

При регулируемом выращивании хризантем решаются задачи не только ускорения, но и задержки перехода к цветению путём прерывания ночного периода. При выращивании на коротком дне цветение последовательно наступает под белым, красным и синим светом [18]. Наиболее эффективным для задержки цветения при выращивании на белом свете является прерывание ночи красным светом, использование монохроматического синего или дальнего красного света вызывало незначительное ингибирование. Напротив, при выращивании на синем свете цветение сильно ингибировалось прерыванием синим или дальним красным светом. Однако при выращивании при смешанном облучении синим и красным светом этого эффекта не наблюдалось. Кроме того, ингибирующий эффект прерывания синим светом частично устранялся импульсами дальнего красного света. Эти опыты свидетельствуют о участии фитохромной системы и экспрессии хризантемного ортолога *FLOWERING LOCUS T (CmFTL3)* в реакции на прерывание ночного периода и влиянии качества света в течение дневного фотопериода на эффективность прерывания ночи.

**Декоративные качества цветков и листьев.** Важными качествами декоративных растений, на которые ориентируются покупатели, являются размеры, форма, окраска цветков, яркость и пёстролистность декоративно-лиственных растений. Окраска цветков определяется накоплением продуктов вторичного метаболизма. Одной из наиболее распространённых групп являются флавоноиды: антоцианы (от розового до чёрно-фиолетового цвета) и флавоны (жёлтые и оранжевые). Это водорастворимые пигменты, которые накапливаются в вакуолях. Окраска антоцианов зависит от концентрации, содержания замещающих группировок, значения рН клеточного сока, сопутствующих катионов, взаимодействия с другими пигментами. Вторичный метаболизм тесно связан с накоплением и распределением сахаров в растении. Сахара, как известно, являются не только энергетически ценными, но и регуляторными веществами. В литературе накоплены экспериментальные доказательства того, что у этилен нечувствительной лилии продолжительность жизни цветков ограничена именно углеводами. Другой проблемой являются активно транспирирующие листья, которые способны оттягивать воду от лепестков, вызывая преждевременное увядание цветков, поэтому столь важно формирование эффективно функционирующего устьичного аппарата листа [3].

Детальное исследование влияния спектрального состава света на формирование декоративных признаков проведено на лилии восточной группы (*Lilium spp*) сорта 'Corvara' [13]. Цветок с розовыми лепестками околоцветника с белой каймой. По стандарту категория качества «плюс»



– от 4 до 6 бутонов на стебле высотой 90–110 см, категория «экспорт»  
– от 2 до 3 бутонов и высотой 70–90 см. Варианты опыта включали разное соотношение в % красных (К) и синих (С) светодиодов: 20 : 80 (К 4С), 40 : 60 (2К 3С), 60 : 40 (3К 2С), 80 : 20 (4К С), контроль со 100%-ным белым светом. Поступление фотосинтетически активной радиации – 90 ммоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Фотопериод – 14 ч. В варианте с высокой долей красного света (4К С) зарегистрирована самая продолжительная вегетативная стадия (продолжительность цикла культивирования увеличена на 15 дней по сравнению с контролем), которая обеспечила самые высокие значения высоты растений, диаметра стебля, накопления биомассы, длины бутона и диаметра цветка, соответствующие высшему стандарту. Остальные варианты дали продукцию категории «экспорт». Цветonoсы меньшей высоты (83 см) получены в контроле и в варианте 2К 3С. С увеличением доли синего света наблюдалось возрастание площади листьев, плотности устьиц и интенсивности розовой окраски лепестков (показатель С – насыщенность, чистота цвета), связанной с накоплением цианидина. Напротив, самое высокое значение L (яркость или светимость) было у 4К С. Этот признак считается более ценным. Больше всего накапливалось сахаров в листьях к моменту цветения в варианте 3К 2С. Это обеспечивало самую продолжительную жизнь цветов в вазе.

Форма и окраска цветков зависит также от строения лепестков. Пигменты обычно располагаются в верхних эпидермальных клетках, но их можно обнаружить в палисадной паренхиме и нижнем эпидермисе тёмных лепестков. Например, в палисадной ткани бледно-голубого гиацинта, в нижнем эпидермисе лепестков тюльпана, ипомеи трёхцветной. Как правило, пигменты не располагаются в клетках губчатой ткани, но её толщина и плотность влияют на яркость окраски. Чем толще и плотнее ткань, чем ярче окраска [37]. Авторы также отмечают влияние различных форм клеток эпидермиса лепестков на окраску цветка. Конические клетки могут увеличивать долю падающего света на эпидермис, что усиливает поглощение и повышает насыщенность цвета. Плоские клетки могут отражать больше света, что приводит к более светлому цвету. Клетки эпидермиса с выступающими сосочками придают лепесткам бархатный блеск. Дифракция света от регулярно складчатой кутикулы, покрывающей клетки эпидермиса лепестков у гибискуса (*Hibiscus trionum* L.), вызывает переливающийся эффект. Формирование анатомии лепестков и накопление пигментов генетически детерминированы и зависят от многих факторов среды, в том числе условий освещения. Цветки туберозы (*Polianthes tuberosa* L.), культивируемой при 25 °С, были почти белыми при затенении 45 %, но

бледно-красновато-пурпурными при затенении 25 или 0 %, что было связано с активностью ферментов, участвующих в биосинтезе антоцианов [20]. У травянистого пиона (*Paeonia lactiflora* Pall.) затенение на 60 % вызвало значительное снижение содержания антоцианов и более светлую окраску цветков, опосредованное синергетическим действием структурных генов, участвующих в биосинтезе антоцианов, и особенно, снижением экспрессии *PIPAL*, *PICHS*, *PIF3H* и *PIF3'H* [38].

Окраска цветков также является важным фактором, влияющим на качество цветов, а световые спектры, такие как ультрафиолетовый и синий свет, участвуют в биосинтезе антоцианов цветов. Например, облучение ультрафиолетом и синим светом увеличивает биосинтез антоцианов в лепестках цветков *Gerbera hybrida* Н. и *Rosa hybrida* L. [7]. Нарушение водообмена растений является одной из причин утраты декоративной ценности цветов. Показано, что синий свет повышает эффективность водообмена за счёт увеличения скорости транспирации и поглощения [5]. Вместе с тем у антуриума (*Anthurium andraeanum*) отмечено негативное влияние синего света на водообмен [6].

Модным трендом среди потребителей становится выращивание декоративно-лиственных горшечных растений, которые имеют не только эстетическое значение, но и способны очищать воздух от летучих соединений. Среди них популярны традесканция (*Tradescantia zebrina* Bosse) и хлорофитум (*Chlorophytum comosum* Jacques). Они характеризуются простотой культивирования, высокой продуктивностью биомассы и пёстрой окраской листвы. Однако для эффектного проявления пёстролиственности растения должны иметь достаточный уровень освещения. Для оценки влияния способов освещения растения выращивали в течение двух месяцев под люминесцентными лампами + синими или красными или + синими и красными светодиодами [15]. Фотопериод – 12 ч. На протяжении всего эксперимента на растениях не наблюдалось каких-либо повреждений. Монохромные и смешанные красно-синие светодиоды по-разному влияли на биомассу и физиологические характеристики в зависимости от вида растений. К концу опыта растения имели самую высокую сухую массу корней при добавлении синих светодиодов. Включение синих светодиодов увеличивало также и сухую массу побегов. Добавление светодиодного облучения не отразилось на содержании воды в побегах и корнях. Желательным признаком декоративно-лиственных растений является яркая окраска листьев, связанная с накоплением хлорофиллов. Накопление пигментов связано с их синтезом и деградацией. Сложность биохимических путей этих процессов и взаимосвязь определяют неоднозначность в реакциях на условия освещения. Теневыносливые растения, как правило, имеют более высокое

содержание пигментов при относительно более высокой доли хлорофилла *b* и каротиноидов. В опыте более высокому накоплению хлорофиллов у традесканции способствовал синий свет. Это может быть результатом действия как на ядерный, так и пластидный геном, а также на усиление синтеза 5-аминолевулиновой кислоты – предшественника тетрапирролов. Снижение содержания хлорофилла под действием светодиодов по сравнению с люминесцентным освещением у хлорофитума может быть связано с деградацией хлорофилла. Спектральный состав света не повлиял на содержание каротиноидов. У обоих видов самая высокая интенсивность фотосинтеза зарегистрирована при сочетании синего и красного светодиода, так как их пики практически совпадают с пиками кривой квантовой эффективности фотосинтеза. В этих условиях у традесканции наблюдалось самое высокое содержание растворимых сахаров, у хлорофитума происходило накопление крахмала. По декоративным качествам имели преимущество растения, выращенные с добавлением синего светодиода к свету люминесцентных ламп.

У пестролистных декоративных растений *Hypoestes phyllostachya* сортов ‘Decor pink’ и ‘Decor red’, *Guzmania lingulata* сорта ‘Theresa’ и *Cryptanthus carnosus* сорта ‘Tricolor’ окраска листьев и прицветников связана с неравномерным распределением хлорофиллов и антоцианов. Изучение влияния спектрального состава света показало, что для реализации генетического потенциала пёстролистности необходимо присутствие синего света, который обеспечивается при освещении 80 красного : 20 синего света [10]. Показано, что синий свет не только ингибирует биосинтез и ускоряет деградацию хлорофиллов, но и активирует несколько генов биосинтеза флавоноидов, в том числе ключевого *NfWRKY70*, что увеличивает накопление антоцианов в растениях *Neoregelia* сорта ‘Fireball’ и приводит к наличию тёмно-красных листьев [32]. В связи с подбором условий формирования красных листьев для повышения декоративной ценности представляет интерес зависимость фотосинтеза от оптических свойств листа. Оценка параметров фотосинтетической активности молодых красноватых и зелёных листьев среднего яруса розы сорта ‘Acito’ показала, что зелёные и красноватые листья имели одинаковое поглощение ФАР [30]. Максимумы эффективности фотосинтеза находились при 640–680 нм для квантового выхода (на единицу поглощённого света) и при 660–680 нм для спектра действия (на единицу падающего света) независимо от окраски листовой пластинки. В зелёном диапазоне спектра у красных листьев эти параметры были ниже. Однако различия на уровне листа почти исчезали на уровне полога листьев. Измерения показали, что оптимизация спектральной мощности светодиодных ламп может

увеличить фотосинтез на 12 % для кроны с зелёными листьями и до 17 % – для кроны с красноватыми листьями.

Эффективность светодиодов в качестве дополнительных источников освещения показана на горшечных культурах *Dieffenbachia amoena* ‘Camella’ и *Ficus elastica* ‘Melany’ [17]. У обоих видов монохроматический красный свет и добавление синих плюс красных светодиодов увеличивал высоту, степень кущения и облиственность растений.

У трёх декоративных горшечных растений *Cordyline australis* (однородные), *Ficus benjamina* (двудольные, вечнозелёные листья) и *Sinningia speciosa* (двудольные, вечнозелёные листья) после 8 недель выращивания при четырёх условиях светодиодного излучения изучались особенности анатомии и функционирования листа [40]. В условиях PPF 100 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> и фотопериоде 16 часов освещение синим и дихроматическим (75 % красного + 25 % синего) светом обеспечивало преимущества по максимальному квантовому выходу и квантовой эффективности фотосинтеза перед монохроматическим красным и белым у всех видов. Синий свет увеличивал толщину листа *F. benjamina* за счёт увеличения палисадной паренхимы, а также устьичную проводимость в следствие увеличения плотности устьиц. На площадь устьичного отверстия спектральный состав света не влиял.

**Антиоксидазные свойства и декоративные признаки.** Активные формы кислорода (АФК) функционируют как молекулы передачи сигнала для адаптации растений к абиотическим стрессам, таким как повышенные и пониженные температуры, недостаточная влагообеспеченность, переувлажнение, свет высокой интенсивности. Однако они также являются токсичными побочными продуктами метаболизма стресса. Чрезмерное накопление АФК в клетке приводит к повреждению белков, нуклеиновых кислот и мембранных липидов, что, в свою очередь, может привести к окислительной деструкции клеток и повреждению растений. Антиоксидазные ферменты – аскорбатпероксидаза, каталаза, пероксидаза, супероксиддисмутаза – смягчают окислительный стресс, удаляя АФК. В состав антиоксидазных систем входят также такие вторичные метаболиты как антоцианы, флавоны и проантоцианидины. Путь биосинтеза флавоноидов тщательно исследован у многих видов растений. Было показано, что пять генов биосинтеза флавоноидов (*CHS*, *CHI*, *F3H*, *F3'H* и *F3'5'H*) ответственны за производство дигидрофлавонолов, общих предшественников флавоноидов. Другая группа структурных генов (*DFR*, *FLS*, *ANS*, *LAR*, *UFGT* и *ANR*) катализирует образование специфических конечных продуктов, таких как антоцианы, флавонолы и проантоцианидины [33].

В условиях стресса происходит нарушение баланса между спросом и предложением на конечные продукты переноса электронов и происходит накопление АФК. В зависимости от скорости накопления АФК могут оказывать двойное влияние на растение. При низких концентрациях АФК действуют как сигнал, индуцирующий защитные реакции, в то время как при высоких концентрациях, вызывают перекисное окисление липидов в мембранах, что приводит к нарушению структурной организации и функционирования клеточных структур. В качестве стрессора может выступать высокая интенсивность света, к которой часто прибегают в конце периода выращивания цветочных культур для улучшения декоративных качеств. Подавление фотосинтеза высокой интенсивностью света известно как фотоингибирование. Защитные стратегии для избежания повреждений состоят в тепловом рассеянии избыточной энергии при участии ксантофилового цикла, конформационных изменений светособирающего комплекса II, снижения квантового выхода фотосинтеза. В защите фотосинтетического аппарата от повреждения интенсивным светом участвуют также антоцианы.

Поскольку каждый участок спектра может индуцировать определённые реакции у растений, представляет интерес изучение влияния узкополосного света на устойчивость к интенсивному освещению. На розе сорта 'Avalanche' изучалось влияние четырёх спектров: белого, синего, красного и 70 % красного + 30 % синего с PPF 250 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> на устойчивость к 12-часовому воздействию белого света с интенсивностью 1500 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> [9]. Переходные процессы полифазной флуоресценции хлорофилла *a* показали более высокую чувствительность к интенсивному свету растений, выращенных под монохроматическим светом. При этом значительно снижалось содержание антоцианов, увеличивалась концентрация перекиси водорода и малонового альдегида, уменьшалось количество растворимых углеводов. Растения, выращенные под белыми и красно-синими светодиодами, имели одинаковые уровни содержания антоцианов до и после обработки, что защитило их фотосинтетический аппарат от стресса.

Неоднократно в литературе сообщается, что синий свет способствует биосинтезу антоцианов и проантоцианидинов у разных видов декоративных растений. *Rosa hybrida* 'Scarlet', *Chrysanthemum morifolium* 'Coral Charm' и *Campanula portenschlagiana* 'Blu One', выращенные при 200 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> белого, разного соотношения красного и синего (40 % синего + 60 % красного и 20 % синего + 80 % красного) или красного света, более высокое накопление фенольных кислот и флавоноидов имели при более высокой доле синего света [29]. Принимая во

внимание роль этих метаболитов как антиоксидантов, антипатогенов и светозащитных веществ, можно считать, что синий свет предрасполагает растения к лучшей борьбе с абиотическими и биотическими стрессами, с которыми растения могут встретиться как на уровне производства товарной продукции, так и у потребителя.

Изучалась реакция семи сортов хризантемы *Chrysanthemum* cv. на выращивание под монохроматическим красным или синим, дихроматическим (75 % красного + 25 % синего) и белым светом при 100 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup> и фотопериоде 14 ч [39]. Наличие синего света в спектре обеспечивало самые высокие максимальный квантовый выход и эффективность ФС II. Синий свет также индуцировал самое высокое содержание H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, что является показателем общего образования АФК. Антиоксидантный ответ не всегда коррелировал с содержанием водорода. Содержание каротиноидов, общего количества флавоноидов и фенольных соединения было выше под белым светом. Внутривидовая изменчивость была наиболее выражена для накопления антиоксидантов.

Окислительный стресс играет ключевую роль в старении срезанных цветов. Показано, что у альстромерии (*Alstroemeria* sp.) первые индикаторы запрограммированной гибели клеток, состоящие в перекисном окислении липидов, проявляются уже на ранних стадиях развития цветка. Ключевые события старения, связанные с нарушением стабильности мембран и активацией антиоксидантных ферментов, происходят при полном роспуске цветка. Начало старения лепестков сопровождалось визуальным усилением их окраски. Фенольные соединения, которые включают фенольные кислоты, флавоноиды и антоцианы защищают цветок от окислительного стресса во время развития, чтобы гарантировать оплодотворение. На поздней стадии старения на лепестках появляются белые пятна, размеры которых быстро увеличиваются. Это может свидетельствовать о нарушении тонопласта и выходе пигментов из вакуолей [1]. Изучение системы антиоксидантной активности при разных условиях освещения в связи с продлением жизни гвоздики в вазе выявило преимущество синего перед белым и красным светом [5]. Значительно снижалось накопление перекиси водорода и МДА по мере развития цветков и усиливалась активность супероксиддисмутазы, каталазы и пероксидазы. Определение антиоксидантных ферментов в динамике показало, что сначала происходит усиление их активности, а затем активность постепенно снижается. Для цветков, подвергшихся воздействию красного света, активность антиоксидантных ферментов достигла своего максимального уровня в более раннее время, чем для цветов, подвергшихся воздействию синего и белого. Активность



антиоксидазных ферментов была более чем удвоена или утроена при их максимальной активности в цветах, подвергшихся воздействию белого и синего света, соответственно. Эти результаты показывают, что синий свет является сигналом окружающей среды, который приводит к снижению окислительного стресса и поддержания стабильности мембран. На 15-й день, когда лепестки цветков, подвергшихся воздействию красного и белого света, увяли, цветы, подвергшиеся воздействию синего, сохранили 61 % индекса стабильности мембран, что задерживало их старение. Содержание каротиноидов в цветках уменьшалось в течение жизни в вазе, под красным светом это происходило с большей скоростью. По физиологическим параметрам, на которые влияли световые воздействия, наибольшая разница наблюдалась между синим и красным светом, белый свет занимал промежуточное положение или был сходен с синим. Это может быть связано с относительно высокой долей синего участка спектра (41 %) в белых светодиодах. Гвоздика относится к типичным этилен чувствительным растениям, однако, к сожалению, нет данных по влиянию качества света на его биосинтез, сигнальные пути и чувствительность к этилену. Благоприятное действие синего света на защиту от окислительного стресса и продление долговечности цветов гвоздики получено в опытах при использовании PPF 150 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Такие условия вряд ли будет создавать потребитель, но могут быть использованы для значительного продления срока хранения или демонстрации цветов в торговых залах.

В связи с влиянием условий освещения на вторичный метаболизм декоративных растений представляет интерес их использование для получения физиологически активных веществ. Для микрозелени бархатцев французских (*Tagetes tenuifolia* Cav.) и целозии (*Celosia plumosa argentea* L.) показана эффективность использования высокого уровня фотосинтетически активного потока (340 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>) при наличии зелёного участка (47 % красный + 19 % зелёный + 34 % синий) на накопление сухой биомассы и фенолов. Низкие и средние уровни интенсивности света положительно влияли на антиоксидантную способность и общее содержание каротиноидов [27]. Изучалась также зависимость накопления полифенолов в лепестках цветков крокуса (*Crocus sativus* L.). Высушенные рыльца этих цветков используют для производства ценной специи шафрана. Цветочные остатки составляют от 86 до 93 % массы цветка и могут быть источником ценных биоактивных веществ для использования в пищевой, фитотерапевтической и косметической промышленности [26]. Растения выращивали при фотопериоде 16 : 8 ч, PPF 120 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Варианты опыта включали светодиодное освещение

62 % красный (660 нм) + 38 % синий (450 нм) и 50 % красный + 12 % зелёный (500–600 нм) + 38 % синий. Контрольные растения находились в стеклянной теплице с естественным освещением. Цветки собирали на следующий день после раскрытия. Под красно-синими светодиодами масса цветков на 23 % превосходила контрольные растения, замена части красного на зелёный свет уменьшала это превосходство в 2 раза. Тем не менее включение зелёного участка спектра в большей степени положительно повлияло на накопление флавоноидов. В целом оба варианта использования светодиодов имели преимущество перед естественным освещением по накоплению общего количества флавоноидов, флавоновых гликозидов и антиоксидантной способности [28].

**Устойчивость к патогенам.** Практическое применение для борьбы с болезнями и вредителями декоративных культур в закрытом грунте нашло ультрафиолетовое излучение УФ-В (280–315 нм). Эффект может быть связан как за счёт индукции биосинтезов специализированных метаболитов, так и прямого действия на патогены. Защита растений УФ-В, опосредованная фоторецептором UVR8, как правило, включает гормоны – салициловую и жасмоновую кислоты, накопление фенольных соединений, алкалоидов и хитиназы. На ряде культур показано, что эффективность облучения усиливается последующей темнотой или пульсирующим способом обработки УФ [25]. Для оранжерейных роз в борьбе с милдью (*Podosphaera pannosa*) рекомендован широкий спектр УФ (265–385 нм) при средней дневной дозе 0.5–3 кДж м<sup>-2</sup> и интенсивности 0,102 W м<sup>-2</sup> (0,065–0,14 в зависимости от сорта и сопутствующих условий). Дополнительное УФ-облучение люминесцентной лампой УФ-В ночью более эффективно, чем днём, что связано с дополнительным прямым ингибированием роста грибов [22].

Спектральный состав видимой части света также имеет значение в борьбе с *Podosphaera pannosa*. На миниатюрной розе сорта ‘Ага’ установлено, что из 5 испытанных вариантов светодиодного освещения с разным спектральным составом наибольшая устойчивость к патогену достигнута под красными светодиодами как с высоким, так и низким соотношением красного и дальнего красного света. Показана также эффективность прерывание темного периода 1-часовым светом красных светодиодов. При этом оказалось, что последующее 1-часовое действие дальнего красного света сводит на нет положительное действие красного света. Повышенный флавоновый индекс у растений при монохроматическом синем свете по сравнению с белым, не подавлял развитие мучнистой росы [23]. Когда растения тепличной розы поме-

щали в аэродинамическую трубу, количество захваченных конидий мучнистой росы было прямо пропорционально интенсивности белого света (PPF от 5 до 150 мкмоль м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>). Освещение синими светодиодами (420–520 нм) увеличивало количество захваченных конидий, но прорастание конидий снизилось на 16,5 % по сравнению с белым светом. Синий свет, как представлено в обзоре Horibe T. [19], также оказался эффективным в борьбе с серой гнилью (*Botrytis cinerea*) срезаемых цветов хризантемы, бегонии, тюльпана, розы, виолы и герберы.

В производстве хризантем в качестве биологической борьбы с трипсами используются членистоногие *Orius laevigatus*. Использование красного, синего и зелёного света в равных пропорциях положительно влияло на количество яиц, откладываемых *O. laevigatus*, тогда как красный свет приводил к наименьшему количеству яиц [11]. Таким образом, борьба с болезнями оранжевых растений с использованием освещения может снизить нагрузку на окружающую среду от применения пестицидов.

**Долговечность продукции.** Срезку цветов и горшечные культуры с цветущими или листовыми растениями при достижении желаемого коммерческого размера и качества переносят в закаточные теплицы или напрямую отправляют в цепочку сбыта. Условия выращивания и постпроизводства, такие как хранение и транспортировка, во многом определяют длительностью сохранения декоративных качеств продукции в цепочке распределения и у потребителя. Перенос производства в более благоприятные климатические условия с целью снижения затрат на отопление привело к тому, что районы выращивания и рынки сбыта часто сильно разделены и растения приходится перевозить на очень большие расстояния. Фактически послеуборочная стадия обычно характеризуется субоптимальными условиями окружающей среды (температура, влажность воздуха, водообеспеченность, свет), что нарушает процессы жизнедеятельности растений. Утрата декоративной ценности происходит в результате изменения габитуса, пожелтения листьев, старения цветков, опадения бутонов, механических повреждений. Разработанные приёмы в основном касаются упаковки, снижения температуры и применения химических препаратов, включающих ингибиторы этилена, антибактериальные агенты, регуляторы роста и развития. Стоит задача подбора технологий выращивания, обеспечивающих замедление метаболизма и торможение физиологических процессов, приводящих к потере декоративности.

Недавние исследования показали, что световые условия выращивания могут быть использованы для сохранения декоративных качеств. Например, красный свет замедляет раскрытие и увядание цветков

розы, что приводит к более длительному сроку их жизни по сравнению с синим и белым светом [19]. Также установлено, что высокая интенсивность света продлевает жизнь в вазе у *Anthurium andraeanum* H., *Chrysanthemum* spp., *Delphinium* spp. и *Dianthus caryophyllus* L. [12, 32]. У лилии наибольшие продолжительности жизни цветов в вазе и эффективность водообмена наблюдались при выращивании при светодиодном освещении при соотношении красного и синего света 3 : 2 и 2 : 3 по сравнению с 4 : 1 и 1 : 4 и белым светом [13].

Горшечный сорт мелкоцветковой хризантемы (*Chrysanthemum* × *grandiflorum* Ramat. Kitam) ‘Leticia Time Yellow’ выращивали и хранили под флуоресцентным светом белого, синего, зелёного, жёлтого и красного цветов. PPF составлял 30 мкмоль м<sup>-2</sup> с<sup>-1</sup>, продолжительность дня – 10 часов [21]. Под синими лампами (400–580 нм) бутоны соцветий раскрывались и окрашивались раньше всех, под красными (600–7000 нм) цвели последними и имели мелкие соцветия. Синий, белый и зелёный свет при выращивании обеспечивали длительную послеуборочную жизнь горшечной культуры.

Для объяснения указанных явлений и продления долговечности цветочных культур необходимы дальнейшие физиологические исследования и разработка технических приемов.

**Выводы.** Быстрое развитие технологий освещения с использованием светодиодов привело к увеличению исследований ассимиляционной и регуляторной функции света. Определённый участок спектра индуцирует специфические реакции растений, поэтому узкополосные светодиоды позволяют выявлять пути передачи сигнала и регуляцию определённых метаболических путей. Установлено, что красный свет стимулирует вытягивание побегов, стимулирует накопление биомассы. Синие участки спектра способствуют процессу фотосинтеза, вызывая открытие устьиц и перемещение хлоропластов, а также увеличивают накопление антиоксидантных соединений и пигментов. Оптимальное соотношение красного и синего света повышает фотосинтетическую способность, накопление биомассы, жизнестойкость и декоративные качества растений. Зелёный свет вносит значительный вклад в фотосинтез и накопление биомассы, особенно во внутренних и нижних слоях листового полога, и может влиять на вторичный метаболизм. Кроме того, зелёные лучи могут более жёстко контролировать рост и морфологию растений за счёт акклиматизации к световой среде в сочетании с эффектами, стимулируемыми красным и синим светом. Тщательный отбор компонентов светового спектра с использованием технологии светодиодного освещения может значительно улучшить связанные с качеством свойства декоративных изделий, влияя на несколько физиоло-

гических и метаболических процессов, таких как цветение, ветвление, укоренение, биосинтез пигмента и срок жизни в вазе. Манипуляции со сроком цветением могут помочь сократить затраты и время производства, получая при этом предсказуемый декоративный продукт, моделируя габитус растения и подчеркивая привлекательные характеристики.

Окраска цветков декоративных растений является результатом совместного действия многих факторов. На сегодняшний день достигнуто определённое понимание механизмов, лежащих в основе развития окраски цветков, благодаря углубленным исследованиям компонентов антоцианов, их содержания, путей биосинтеза и ключевых участников генетического регулирования. Установлено участие этилена в регуляции старения цветков не только у гвоздики, но и на более поздних этапах развития у этилен нечувствительной альстромерии, и возможность задержки утраты декоративной ценности ингибиторами биосинтеза и рецепторов этилена [4]. В связи с этим представляет несомненный интерес изучение влияния света на гормональный статус декоративных растений. Наряду с углублением знаний в области функциональной геномики необходимы тщательные исследования эпигенетических регуляций метаболизма в условиях регулируемой световой среды.

Несмотря на то, что исследования в области светодиодного освещения растений в последние годы быстро прогрессируют, всё ещё необходимо решить несколько пробелов в исследованиях. Например, для многих культур до сих пор не известны оптимальный спектр и интенсивность света, необходимые на каждой фенологической стадии для оптимизации качества продукции. Кроме того, следует более детально охарактеризовать взаимодействие между интенсивностью и спектральным составом света, а также с другими параметрами окружающей среды. Эти достижения также желательны с точки зрения многочисленных возможных применений светодиодов, включая выращивание цветущих декоративно-лиственных растений в теплицах и интерьерах, производство растительной пищи, обогащённой полезными для здоровья биоактивными соединениями. Использование светового фактора позволит решать проблемы формирования оптимального габитуса растений, регулирования сроков цветения, защиты растений от вредителей и болезней для снижения нагрузки на окружающую среду от использования пестицидов.

#### Список литературы/References

1. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Старение органов растения как реализация генетической программы развития, Субтропическое и декоративное садоводство. 2017; 61 : 174-180. [Panfilova O.F., Pilshchikova N.V. Aging of plant organs as the implementation of a genetic development program, Subtropical and ornamental horticulture. 2017; 61 : 174-180. (In Rus)].

2. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Послеуборочная долговечность срезанных цветов в зависимости от условий освещения, Субтропическое и декоративное садоводство. 2021; 79 : 133-143. [Panfilova O.F., Pilshchikova N.V. Post-harvest durability of cut flowers depending on lighting conditions, Subtropical and ornamental horticulture. 2021; 79: 133-143. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2021-79-133-143.
3. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Развитие цветка и сохранение декоративных качеств цветов лилии (*Lilium* L.) азиатских гибридов, Субтропическое и декоративное садоводство. 2018; 65 : 74-78. [Panfilova O.F., Pilshchikova N.V. Flower development and preservation of decorative qualities of lily flowers (*Lilium* L.) of Asian hybrids, Subtropical and ornamental horticulture. 2018; 65 : 74-78. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2018-65-74-80.
4. Панфилова О.Ф., Пильщикова Н.В. Физиологические подходы задержки старения лепестков в связи с жизнью в вазе срезанных цветов, Субтропическое и декоративное садоводство. 2019; 68 : 190-196. [Panfilova O.F., Pilshchikova N.V. Physiological approaches to delaying the aging of petals in connection with life in a vase of cut flowers, Subtropical and ornamental horticulture. 2019; 68 : 190-196. (In Rus)]. DOI: 10.31360/2225-3068-2019-68-190-196.
5. Aalifar M., Aliniaiefard S., Arab M., Mehrjerdi M.Z., Serek M. Blue light postpones senescence of carnation flowers through regulation of ethylene and abscisic acid pathway-related genes, Plant Physiol. Biochem. 2020; 151 : 103–112. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.03.018.
6. Aliniaiefard S., Falahi Z., Dianati D. S., Li T., Woltering E. Postharvest spectral light composition affects chilling injury in anthurium cut flowers, Front. Plant Sci. 2020; 12 : 846. DOI: 10.3389/fpls.2020.00846.
7. An S., Arakawa O., Tanaka N., Zhang S., Kobayashi M. Effects of blue and red-light irradiations on flower colouration, Sci. Hortic. 2020; 262 : 109093. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.109093.
8. Barbier F., Péron T., Lecerf M., Perez-Garci M.D., Barrièr Q., Rolčík J., Boutet Mercey S., Citerne S., Lemoine R., Porcheron B., Roman H., Leduc N., Gourrierc J.L., Bertheloot J., Sakr S. Sucrose is an early modulator of the key hormonal mechanisms controlling bud outgrowth in *Rosa hybrida*, J. Expt. Bot. 2015; 66 : 2569-2582. DOI: 10.1093/jxb/erv047.
9. Bayat L.; Arab M., Aliniaiefard S., Seif M., Lastochkina O., Li T. Effects of growth under different light spectra on the subsequent high light tolerance in rose plants, AoB Plants. 2018; 10. DOI: 10.1093/aobpla/ply052.
10. De Keyser E., Dhooghe E., Christiaens A., Van Labeke M.-C., Van Huylbroeck J. LED light quality intensifies leaf pigmentation in ornamental pot plants, Sci. Hortic. 2019; 253 : 270-275. DOI: 10.1016/j.scienta.2019.04.006.
11. Dielemana J.A., Kruidhof H.M., Weerheim K. LED lighting strategies in cut flowers: Balancing plant physiology and biological control of pests, Acta Hort. 2020; 1296 : 591-604. DOI: 10.17660/ActaHortic.2020.1296.76.
12. Evelin S., Farrella A.D., Eliboxa A.D., Abreua K.D., Umaharara P. The impact of light on vasa life in *Anthurium andraeanum* cat flower, PBT. 2020; 159 : 110984. DOI: 10.116/postharvbio.2019.110984.
13. Flores-Pérez S., Castillo-González A.M., Valdez-Aguilar L.A., Avitia-García E. Use of different proportions of red and blue LEDs to improve the growth of *Lilium* spp, Revista Mexicana Ciencias Agrícolas. 2021; 12(5) : 835. DOI: 10.29312/remexca.v12i5.2607.
14. Fukuda N., Ishii Y., Ezura H., Olsen J.E. Effects of light quality under red and blue light emitting diodes on growth and expression of fbp28 in petunia, Acta Hort. 2011; 907 : 361-366. DOI: 10.17660/ActaHortic.2011.907.59.
15. García-Caparrós P., Martínez-Ramírez G., Almansa E.M., Javier Barbero F., Chica R.M., Teresa Lao M. Growth, photosynthesis, and physiological responses of ornamental plants to complementation with monochromic or mixed red-blue LEDs for use in indoor environments, Agronomy. 2020; 10 : 284. DOI: 10.3390/agronomy10020284.
16. Heo J.W., Lee C.W., Murthy H.N., Paek K.Y. Influence of light quality and photoperiod on flowering of *Cyclamen persicum* Mill. cv. 'Dixie White', Plant Growth Regul. 2003; 40 : 7-10. DOI: 10.1023/A:1023096909497.



17. Heo J.W., Lee Y.B., Kim D.E., Chang Y.S., Chun C. Effects of supplementary LED lighting on growth and biochemical parameters in *Dieffenbachia amoena* 'Camella' and *Ficus elastica* 'Melany', J. Korean Hortic Sci Technol. 2010; 28 : 51-58. ISBN: 1226-8763.
18. Higuchi Y., Sumitomo K., Oda A., Shimizu H., Hisamatsu T. Day light quality affects the night-break response in the short-day plant chrysanthemum, suggesting differential phytochrome-mediated regulation of flowering, J Plant Physiol. 2012; 169(18) : 1789-96. DOI: 10.1016/j.jplph.2012.07.003.
19. Horibe T. Use of Light Stimuli as a Postharvest Technology for Cut Flowers, Front. Plant Sci. Sec. Crop and Product Physiology. 2020; 11. DOI: 10.3389/fpls.2020.573490.
20. Huang K.L., Miyajima I., Okubo H. Effects of temperature and shade treatment on flower colors and characteristics in newly established reddish-purple tuberose (*Polianthes*), J. Fac. Agric. Kyushu Univ. 2000; 45 : 57–63. DOI: 10.5109/24357.
21. Jerzy M., Zakrzewski P., Schroeter-Zakrzewska A. Effect of colour of light on the opening of inflorescence buds and post-harvest longevity of pot chrysanthemums (*Chrysanthemum* × *grandiflorum* (Ramat.) Kitam), Acta Agrobotanica. 2011; 64(3) : 13-18. DOI: 10.5586/aa.2011.025.
22. Kobayashi M., Kanto T., Fujikawa T., Yamada M., Ishiwata M., Satou M., Hisamatsu T. Supplemental UV radiation controls rose powdery mildew disease under the greenhouse conditions, Environ. Control Biol. 2014; 51 : 157-163. DOI: 10.2525/ecb.51.157.
23. Matysiak B. The Effect of Supplementary LED Lighting on the Morphological and Physiological Traits of Miniature *Rosa* × *Hybrida* 'Aga' and the Development of Powdery Mildew (*Podosphaera pannosa*) under Greenhouse Condition, Plants. 2021; 10(2) : 417. DOI: 10.3390/plants10020417.
24. Meng Q., Runkle E.S. Regulation of flowering by green light depends on its photon flux density and involves cryptochromes, Phys. Plant. 2019; 166 : 762-771. DOI: 10.1111/ppl.12832.
25. Meyer P., Van de Poel B., De Coninck B. UV-B light and its application potential to reduce disease and pest incidence in crops, Hortic. Res. 2021; 8 : 194. DOI: /10.1038/s41438-021-00629-5.
26. Moratalla-Lopez N., Bagur J.M., Lorenzo C., Martinez-Navarro M.E., Rosario Salinas M., Alonso G.L. Bioactivity and Bioavailability of the major metabolites of *Crocus sativus* L. flower (review), Molecules. 2019; 24 : 2827. DOI: 10.3390/molecules24152827.
27. Orlando M., Trivellini A., Incrocci L., Ferrante A., Mensuali A. The inclusion of green light in a red and blue light background impact the growth and functional quality of vegetable and flower microgreen species, Horticulturae. 2022; 8 : 217. DOI: 10.3390/horticulturae8030217.
28. Orlando M., Trivellini A., Puccinelli M., Ferrante A., Incrocci L., Mensuali A. Increasing the functional quality of *Crocus sativus* L. by-product (tepals) by controlling spectral composition, Hortic. Environ. Biotechnol. 2022; 63 : 363-373. DOI: 10.1007/s13580-021-00407-1.
29. Ouzounis T., Fretté X., Rosenqvist E., Ottosen C.O. Spectral effects of supplementary lighting on the secondary metabolites in roses, chrysanthemums, and campanulas, Journal of Plant Physiology. 2014; 171(16) : 1491-1499. DOI: 10.1016/j.jplph.2014.06.012.
30. Paradiso R., Meinen E., Snel J.F.H., Visser P., Ieperen W., Hogewoning S.W., Marcel L.F.M. Spectral dependence of photosynthesis and light absorptance in single leaves and canopy in rose, Scientia Horticulturae. 2011; 127(4) : 548-554. DOI: 10.1016/j.scienta.2010.11.017.
31. Park Y., Runkle E.S. Far-red radiation and photosynthetic photon flux density independently regulate seedling growth but interactively regulate flowering, Environ. Exp. Bot. 2018; 155 : 206-216. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2018.06.033.
32. Pun U.K., Ichimura K. Review – role of sugars in senescence and biosynthesis of ethylene in cut flowers, JARQ. 2003; 37 : 219-224. DOI: 10.6090/jard.37.219.
33. Shi J., Zhan Sh., Jin L., Zhou Q., Shen Y., Wan X., Zou L., Dong Q., Bao M., Tian D., Ning G., Ge Y. Blue light exposure intensifies leaf red pigmentation and enhances oxidative stress tolerance in the ornamental bromeliad *Neoregelia* 'Fireball', Scientia Horticulturae. 2023; 310(15) : 111716. DOI: 10.1016/j.scienta.2022.111716.
34. Trivellini A., Toscano S., Romano D., Ferrante A. LED Lighting to Produce High-Quality Ornamental Plants, Plants (Basel). 2023; 12(8) : 1667. DOI: 10.3390/plants12081667.

35. Wollaeger H.M., Runkle E.S. Growth of impatiens, petunia, salvia, and tomato seedlings under blue, green, and red light-emitting diodes, Hort. Science. 2014; 49 : 734-740. DOI: 10.21273/HORTSCI.49.6.734.
36. Yamori N., Matsushima Y., Yamori W. Upward LED lighting from the base suppresses senescence of lower leaves and promotes flowering in indoor rose management, Hort. Science. 2021; 56 : 716-721. DOI: 10.21273/HORTSCI15795-21.
37. Yang J., Song J., Jeong B.R. Blue Light Supplemented at Intervals in Long-Day Conditions Intervenes in Photoperiodic Flowering, Photosynthesis, and Antioxidant Properties in Chrysanthemums, Antioxidants (Basel, Switzerland). 2022; 11(12) : 2310. DOI: 10.3390/antiox11122310.
38. Zhao D.Q., Tao J., Han C.X., Ge J.T. Flower color diversity revealed by differential expression of flavonoid biosynthetic genes and flavonoid accumulation in herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) Mol. Biol. Rep. 2012; 39 : 11263-11275. DOI: 10.1007/s11033-012-2036-7.
39. Zheng L., Van Labeke M.C. Chrysanthemum morphology, photosynthetic efficiency and antioxidant capacity are differentially modified by light quality, J. Plant Physiol. 2017; 213 : 66-74. DOI: 10.1016/j.jplph.2017.03.005.
40. Zheng L., Van Labeke M.C. Long-Term Effects of Red- and Blue-Light Emitting Diodes on Leaf Anatomy and Photosynthetic Efficiency of Three Ornamental Pot Plants Front Plant Sci. 2017; 8 : 917. DOI: 10.3389/fpls.2017.00917.

## LIGHT AND QUALITY OF FLORICULTURE PRODUCTS

**Panfilova O.F.**

*Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev  
Moscow Agricultural Academy,  
Moscow, Russia, e-mail: panfilova.of@yandex.ru*

The paper presents an overview of recent publications on the use of light environment regulation to improve the efficiency of floriculture due to product quality. The most important characteristics of the light environment are considered – flux density of photosynthetic photons, photoperiod, and spectral composition of light. Their strict adjustment is ensured by the use of light-emitting diodes. With regard to objects, the material mainly concerns potted flowering and decorative deciduous plants, as well as seedlings of flower crops and cut production. As for plants' habitus regulation, height and the formation of lateral shoots are of particular importance. The advantage of using polychromatic LEDs over monochromatic light is shown. Attention is drawn to the value of green light and the ratio of red and far red light in the light spectrum. When studying the issues of flowering induction, the paper considered the ways of perception and transmission of a signal with a favorable photoperiod and the influence of light quality on the reaction of plants during the interruption of night period. The main part of the review is devoted to the importance of light environment in physiological and biochemical processes and genetic regulation of flower coloration, leaf variegation of ornamental and deciduous plants, participation of antioxidant systems in stress resistance and storage longevity. The direct and indirect effects of light on pathogens are considered. The special role of blue light in the accumulation of anthocyanins and the activity of antioxidant enzymes is shown. In conclusion, the prospects of using light to obtain high-quality floriculture products and reduce the pesticides load on the environment are noted.

**Keywords:** floriculture, LEDs, decorative qualities, photosynthesis, photoregulation, antioxidants, aging, durability.