

А. А. Смирнов, СНС, К.Т.Н.

Ю. А. Прошкин, СНС, К.Т.Н.

А. В. Соколов, ВНС, К.Т.Н.

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Россия, г. Москва

alexander8484@inbox.ru

УДК 634.75:58.03

DOI 10.31676/2073-4948-2020-60-74-80

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

Реферат. В последнее время становятся популярными, так называемые, городские фермы, где зеленные и ягодные культуры выращивают при искусственном освещении. Действие различных участков спектра в видимой области на овощные и ягодные культуры достаточно изучено, но влияние ультрафиолетового и дальнего красного излучения требует более подробных исследований. Цель работы — изучение влияния спектрального состава излучения светодиодов на цветение и плодоношение земляники садовой. Для исследований были выбраны гибриды ремонтантной земляники садовой Elan F1 и Florian F1. Растения выращивались в фитокамерах на стеллажах с искусственным светодиодным освещением. Установлено, что при доле дальней красной составляющей не менее 15 % в излучении происходит увеличение площади листа и длины цветоносов.

Ключевые слова: земляника садовая, светодиод, спектральный состав излучения, фотосинтетически активная радиация

Summary. Recently, urban farms for growing green and berry crops with artificial light are gaining popularity. The effect of different parts of the spectrum in the visible region on vegetable and berry crops has been studied extensively, but the influence of ultraviolet and far red radiation requires more detailed studies. The purpose of the work was to study the influence of the spectral composition of the radiation of LEDs on the flowering and fruiting of strawberries. For research Elan F1 and Florian F1 hybrids of everbearing strawberries were chosen. Plants were grown in phytocameras on racks with artificial LED lighting. It has been established that with a fraction of the far red component of at least 15 % in radiation, an increase in leaf area and the length of peduncles occurs.

Keywords: strawberries, LED, radiation spectral composition, photosynthetically active radiation

Введение

Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) — ценная культура и одна из самых популярных ягод в мире. Земляника в рационе питания — это источник разнообразных антиоксидантных соединений, связанных с полезными для здоровья свойствами, некоторые из которых обладают сильными антимуtagenными и противоопухолевыми свойствами. Антиоксидантная активность земляники может способствовать профилактике рака, сердечно-сосудистых и других хронических заболеваний [1].

В настоящее время набирает популярность круглогодичное выращивание земляники в теплицах и городских фермах (фабриках растений). Земляника, как правило, выращивается на подвесных лотках, при этом плоды свисают по обе стороны (рис. 1). При таком способе выращивания проще вести сбор плодов и обработку растений. Однако сорта земляники различаются по своим вегетативным (то есть росту и размеру) и репродуктивным характеристикам (урожайности и качеству плодов) [2], что, в свою очередь, может определять распределение плодов и экспозицию света на растение. Для выращивания по данной технологии подходят сорта земляники с длинными цветоносами (от 15 см).



Рис. 1. Выращивание земляники садовой на подвесных лотках [3]

В условиях малой освещенности и короткого дня применяются системы искусственного освещения — в основном на базе светоизлучающих диодов (СИД) красного и синего излучения [4]. Также в современных облучателях применяются СИД на основе полупроводникового кристалла синего света с комбинацией люминофоров, дающие более широкий спектр излучения. Преимущество применения светодиодов в системах освещения — возможность точного подбора спектрального состава излучения под конкретную ягодную культуру. К тому же создавая различные сценарии освещения с изменяемым спектральным составом можно запускать различные фотохимические реакции, протекающие в растениях, влиять на морфологию и метаболизм растений и тем самым управлять ростом и развитием выращиваемой культуры [5].

При выращивании в теплице плоды земляники в течение всего сезона сбора урожая подвергаются различным условиям освещения и воздействие света явно влияет на качество плодов у разных генотипов земляники [6]. Известно, что различные спектры света влияют на баланс между ростом и развитием растений. Предыдущие исследования показали положительное влияние красного и синего света на формирование побегов земляники, соцветий и столонов [7]. Дополнительное освещение синим светом способствует цветению у некоторых сортов земляники длинного дня. Синий свет может положительно взаимодействовать с эндогенным уровнем цитокининов. С другой стороны, красный свет задерживает начало цветения [8].

Сегодня на рынке широко представлены облучатели на основе СИД с различным спектральным составом, однако их производители не всегда дают четкие рекомендации по применению этих облучателей для конкретных овощных и ягодных культур.

Цель работы — изучение влияния спектрального состава излучения светодиодных облучателей на цветение и плодоношение земляники садовой.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в испытательной лаборатории ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в период 2017-2019 гг. Для исследований были выбраны гибриды земляники садовой нейтрального дня (ремонтантные) Elan F1 и Florian F1 селекционной фирмы «ABZ SEEDS» (Нидерланды), подходящие для выращивания на стеллажах и в вертикальных контейнерах. Применительно к светокультуре земляники ремонтантные сорта представляют особый интерес, так как способны закладывать цветочные почки независимо от фотопериода [9]. Растения выращивались в закрытой фитокамере на двух стеллажах методом гидропоники с разными параметрами облучения. Замена растений на новые происходила с периодичностью 10-12 месяцев. Питательный раствор готовили на основе комплексных удобрений фирмы General Hydroponics (Франция). Химический состав питательного раствора: N-NO₃ 10,00 мМ/л; N-NH₄ 1,00 мМ/л; P-PO₄ 1,00 мМ/л; K 5,50 мМ/л; Ca 3,50 мМ/л; Mg 1,20 мМ/л; S-SO₄ 2,50 мМ/л; Fe 20,00 μМ/л; B 30,00 μМ/л; Cu 1,00 μМ/л; Zn 5,00 μМ/л; Mn 10,00 μМ/л; Mo 1,00 μМ/л.

В качестве источников излучения были выбраны облучатели российского производства марок RDM-LED на основе СИД с люминофором расширенного спектра и Comlar на основе светодиодов красного, белого и синего света. Оба облучателя предназначены для выращивания зеленных и ягодных культур на стеллажах. Спектральные характеристики облучателей представлены на рис. 2.

Облученность во всех вариантах была установлена ~30 Вт/м² при 16-часовом световом периоде и температуре воздуха +24/18 °С (день/ночь). Для измерения ФАР облученности и анализа спектра излучения пользовались спектрофотометром ТКА-Спектр ФАР. Для управления обогревом, вентиляцией,

обогащением двуокисью углерода, влажностью, освещением и регистрацией условий окружающей среды использовался климатический компьютер. Длину цветоносов измеряли с помощью линейки (рис. 3). Площадь листьев определялась с помощью фотопланиметра марки LI-COR LI-3100 AREA METER (США). Измерение длины цветоносов и площади листьев производилось в пятикратной повторности.

В первом варианте опытов гибрид Florian F1 выращивали под облучателем RDM-LED, во втором варианте — под облучателем Complar. В третьем варианте гибрид Elan F1 выращивали под облучателем RDM-LED, в четвертом варианте под облучателем Complar. В каждом варианте опыта были использованы десять растений.

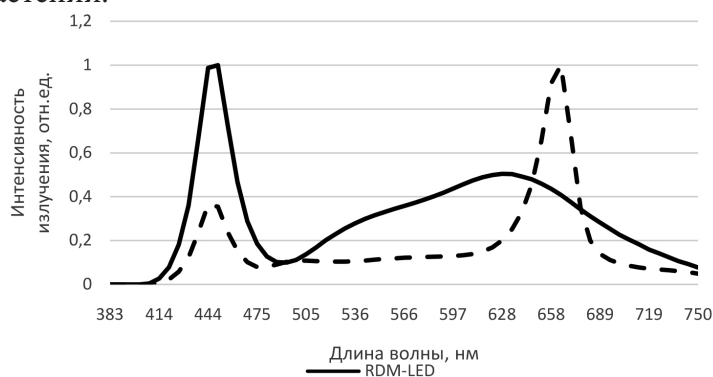


Рис. 2. Спектральный состав излучения светодиодных облучателей



Рис. 3. Измерение длины цветоносов

Результаты и обсуждение

В ходе визуальных наблюдений при выращивании обоих гибридов земляники садовой под облучателем RDM-LED растения отличались большей длиной цветоносов и черешков листьев. После высадки рассады наблюдалось некоторое отставание начала цветения обоих гибридов под облучателями Complar, что можно объяснить ингибирующим эффектом красного света (доля которого в спектре излучения 65 %), который, как предполагается, может влиять на активность эндогенных гиббереллинов [8]. С другой стороны, исследования показывают, что досвечивание с высокой долей синего света способствует более ранней бутонизации ремонтантных сортов земляники [9].

Существенных различий в урожайности и других сортоспецифичных реакций обоих гибридов при разном спектре облучения не наблюдалось. Результаты измерений длины цветоносов и площади листовой пластины четырех вариантов с указанием среднего арифметического и среднеквадратичного отклонения представлены в таблице 1. Обработке подвергались результаты измерений за 2 года наблюдений.

Таблица 1.

Результаты измерений длины цветоносов и площади листовой пластины земляники садовой при разном облучении

№ пп	Гибрид	Облучатель	Спектральный состав С:З:К:ДК, %	Длина цветоносов, см	Площадь листовой пластины, см ²
1	Florian F1	RDM-LED	20:20:45:15	20,4 ±4,2	16,3 ±2,4
2		Complar	14:16:65:5	12,3 ±3,5	13,4 ±1,2
3	Elan F1	RDM-LED	20:20:45:15	21,5 ±3,1	19,1 ±2,1
4		Complar	14:16:65:5	14,8 ±2,6	15,6 ±1,5

Растения нуждаются в свете не только для фотосинтеза, но и для отлаженной регуляции их роста и развития. Излучения УФ, синего, красного и дальнего красного участвуют в различных фотоморфогенетических процессах, таких как развитие проростков, вегетативный рост, цветение и плодоношение. Известно, что ДК-излучение способствует увеличению площади листа, длины междоузлий, влияет на ориентацию и расположение листа и, как следствие, интенсифицирует фотосинтез [10, 11].

В ходе исследования выявлено влияние спектрального состава излучения на удлинение цветоносов и увеличение площади листа, то есть фитохромные реакции растения на красный и дальний красный свет, синергетический характер которых объясняется эффектом Эмерсона [12]. Излучение в ДК области спектра воздействует в основном на фитохром, который играет в фотосинтетическом аппарате важную роль, помогает устанавливать цир-

кадные ритмы, инициирует цветение, регулирует размер, форму и количество листьев. Известно, что удлинение стебля регулируется системой фитохрома и что фитохром позволяет растениям управлять распределением спектра естественной радиации в пределах листового полога [13]. Поэтому добавление к излучению ФАР дальней красной составляющей (700-750 нм) может стимулировать рост площади листа и усиливать фотосинтез. К тому же большая длина цветоносов облегчает сбор плодов земляники при ее выращивании на подвесных лотках. Однако синий свет имеет противоположное действие [9], он индуцирует торможение роста осевых органов и площади листьев, что также необходимо учитывать при подборе спектрального состава облучения.

Выводы

Изучено влияние дальнего красного излучения светодиодов на цветение и плодоношение земляники садовой. Установлено, что при доле ДК, составляющей не менее 15 %, в излучении происходит увеличение площади листа и длины цветоносов. При увеличении красной доли излучения с 45 % до 65 % происходила задержка начала цветения.

При выборе облучательного оборудования для светокультуры земляники садовой на подвесных лотках следует отдавать предпочтение облучателям с долей дальнего красного излучения не менее 15 %, что приведёт к увеличению длины цветоносов и тем самым упростится сбор ягоды, особенно при механизированном способе уборки.

Список использованной литературы

1. Hannum S. M. Potential impact of strawberries on human health: a review of the science // *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2004. № 44. — P. 1–17. <https://doi.org/10.1080/>
2. Miranda L., Gómez-Mora J. A., Medina J. J., Ariza M. T., Domínguez P., Martínez-Ferri E., Soria C. // *Estudio comparativo de diez variedades de fresa. Vida Rural* 2015. 405, 34–38.
3. АПХ «ЭКО-культура» вырастит ягоды в Подмоскowie. *Журнал Агробизнес*. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agbz.ru/news/pmef-aph-eko-kultura-vyirastit-yagodyi-v-podmoskove> (Дата доступа — 09.09.2019)
4. Goto N., Honma Y., Yusa M., Sugeno W., Iwasaki Y., Suzuki H., Yoneda T., Hikosaka S. Effects of using LED supplementary lighting to improve photosynthesis on growth and yield of strawberry forcing culture // *Acta Hort.* 2018. 1227. — P. 563-569. DOI 10.17660/ActaHortic.2018.1227.71
5. Hanenberga M. A. A., Janse J., Verkerke W. LED light to improve strawberry flavour, quality and production // *Acta Hort.* 2016. 1137. — P. 207-212 DOI 10.17660/ActaHortic.2016.1137.29.
6. Cervantes L., Arizaa M. T., Gómez-Morab J. A., Mirandab L., Medinac J. J., Soriaa C., Martínez-Ferria E. Light exposure affects fruit quality in different strawberry cultivars under field conditions // *Scientia Horticulturae* 2019. № 252 — P. 291–297.

7. Samuolienė G., Brazaitytė A., Urbonavičiūtė A., Sabajevienė G., Duchovskis P. The effect of red and blue light component on the growth and development of frigo strawberries. 2010.

8. Magar Y.G., Ohyama K., Noguchi A., Amaki W., Furufuji S. Effects of light quality during supplemental lighting on the flowering in an everbearing strawberry // Acta Hort. 2018. 1206. — P. 279-284. DOI 10.17660/ActaHortic.2018.1206.39

9. Яковцева М. Н., Говорова Г. Ф., Буланова И. А., Тараканов И. Г. Фотоморфогенез и продукционный процесс разных онтотипов земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) в условиях светокультуры на основе узкополосных светодиодов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. — 2016. — N 4. — С. 69–92.

10. Тихомиров А.А., Шарупич В. П., Лисовский Г. М. Светокультура растений: биофизическое и биотехнологические основы. — Новосибирск: Изд. Сиб. отд. РАН, 2000. — 213 с.

11. Hogewoning S. W., Trouwborst G., Meinen E., W. van Ieperen Finding the optimal growth-light spectrum for greenhouse crops // Acta horticulturae. 2012. 956. — P. 357-364.

12. Медведев С. С. Физиология растений. — СПб.: БХВ-Петербург, 2013. — 335 с.

13. Уоринг Ф., Филлипс И. Рост растений и дифференцировка Пер. с англ. — М.: Мир, 1984. — 512 с.

A. A. Smirnov, Y. A. Proshkin, A. V. Sokolov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Russia, Moscow

INFLUENCE OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF OPTICAL RADIATION ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF THE STRAWBERRIES