

## ВЛИЯНИЕ ДОСВЕТКИ (730 НМ) НА УСООБРАЗОВАНИЕ И СОДЕРЖАНИЕ ФОТОСИНТЕТИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ В ЛИСТЬЯХ ЗЕМЛЯНИКИ КРУШНОПЛОДНОЙ\*

Т.Н. Лисина, *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

Е.М. Протасова, *Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства*

---

### Для цитирования:

Лисина Т.Н., Протасова Е.М. Влияние досветки (730 нм) на усообразование и содержание фотосинтетических пигментов в листьях земляники крупноплодной // Вестник Пермского федерального исследовательского центра. – 2025. – № 1. – С. 18–26. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2025.1.2>

---

Освещение и его характеристики (продолжительность светового дня, спектральный состав источника освещения) являются фактором, с помощью которого, по данным научной литературы, можно контролировать развитие земляники крупноплодной, общий урожай плодов, количество сформированных листьев и цветоносов. Соотношение доли красного (660 нм) и дальнего красного света (730 нм) в общем освещении влияет на состав плодов земляники, увеличивает площадь листа и длину цветоноса. Целью исследования было определение влияния досветки дальним красным светом на процесс усообразования и содержание хлорофиллов и каротиноидов в листьях шести сортов земляники крупноплодной. Установлено снижение содержания основных фотосинтетических пигментов в листьях пяти сортов земляники (Сибилла, Альбион, Фурор, Сандра, Чамора Туруси) при досветке дальним красным светом, что объясняется эффектом «разбавления» при более активном росте. Показана перспективность использования досветки дальним красным светом для усиления процесса усообразования относительно четырех сортов земляники: Сибилла, Альбион, Сандра, Чамора Туруси. Отмечено повышение количества усов на 80-е сутки эксперимента: у растений сорта Сибилла – 225%, у растений сорта Сандра – 157%, у растений сорта Чамора Туруси – 288%. Результаты могут быть применены при получении рассады земляники неремонтантных сортов и, возможно, некоторых ремонтантных, например, сорта Альбион.

**Ключевые слова:** земляника садовая, дальний красный свет, хлорофилл, каротиноиды, усообразование.

---

\* Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, регистрационный номер НИОКТР 122031100058-3.

### Введение

Земляника ананасная или земляника садовая, крупноплодная – *Fragaria ananassa* – многолетнее травянистое растение рода Земляника семейства Розовых. Это широко распространенная ягодная культура, отличающаяся способностью к быстрому вегетативному размножению, скороплодностью, высокой урожайностью и пластичностью. Земляника крупноплодная является весьма востребованной культурой в Российской Федерации. Она обладает приятными вкусовыми качествами, содержит большой набор витаминов, микроэлементов и органических кислот.

Освещение играет большую роль для продуктивности растений и повышения эффективности размножения. В литературе представлены многочисленные данные о том, что спектральный состав источника света можно использовать для контроля роста и морфогенеза тканей и органов растений, в том числе и земляники. В видимой части спектра выделяют синий свет (длина волны 400-500 нм), зеленый свет (500-600 нм), красный свет (600-700 нм) и дальний красный свет (700-800 нм).

Экспериментально доказано, что искусственное освещение может быть успешно использовано на этапе укоренения и адаптации растений-регенерантов земляники крупноплодной [1]. Наиболее интенсивно процесс пролиферации побегов земляники садовой проходит при освещении светодиодными светильниками с преобладанием в спектре красного света [2].

Установлена зависимость результата укоренения земляники садовой от сочетания параметров освещения и состава питательной среды [3]. Для получения наибольшего числа микророзеток растений-регенерантов земляники садовой в условиях культуры *in vitro* целесообразно

использовать полный спектральный свет, то есть содержащий длины волн от 400 до 800 нм [4].

Расчет уровня рентабельности показал, что применение освещения с преобладанием излучения в красной и синей областях спектра в период культивирования эксплантов *in vitro* экономически выгодно и позволяет повысить прибыль от реализации розеток земляники в 1,5 раза по сравнению с общепринятой технологией [5].

Выявлено последствие спектрального состава света, используемого на этапе культивирования *in vitro*, на генеративную и вегетативную продуктивность растений земляники в полевых условиях. Культивирование эксплантов при освещении красным и синим светом способствовало увеличению числа листьев и усов у растений земляники в полевых условиях по сравнению с контролем. Отмечена сортоспецифическая реакция растений на освещение светом различного спектрального состава [6].

Фитохромы являются фоторецепторами красной части спектра и уникальны тем, что у них есть красная светопоглощающая форма (Pr) и дальняя красная светопоглощающая форма (Pfr), которые фотообратимы. Неактивная форма Pr может поглощать красный свет (с максимальным значением при 660 нм) и преобразовываться в форму Pfr, в то время как активная форма Pfr может поглощать дальний красный свет (с максимальным значением при 730 нм). Экспериментально показано, что при регуляции в освещении соотношения красного и дальнего красного света можно влиять на удлинение тканей и накопление антоцианов в растениях, в частности, в землянике [7].

По данным научной литературы, дополнительное дальнее красное освещение способствует увеличению площади листьев и сухой массы побегов земляники на

74% и 73% соответственно, а количества коронок на растении земляники на 33%. Добавление дальнего красного света в спектр освещения способно увеличить количество собранных плодов с растения на 36%, общий урожай плодов на 48% и общее содержание растворимых сухих веществ в плодах на 12% у клубники сорта [8].

Повышенная доля красного света в спектре светодиодных ламп способствует более раннему переходу сортов земляники к бутонизации [9]. Установлено, что при доле дальней красной составляющей не менее 15% в излучении происходит увеличение площади листа и длины цветоносов земляники [10].

С помощью дальнего красного света было успешно экспериментально индуцировано цветение земляники [11]. Продемонстрировано, что посредством досветки дальним красным в конце светового дня можно регулировать время

цветения земляники [12]. Экспериментально показано, что, манипулируя дополнительным световым спектром в области 730 нм, можно ослабить физиологические последствия стрессов [13].

Цель исследования – изучение влияния досветки дальним красным светом (730 нм) на активность усообразования и содержание фотосинтетических пигментов в листьях земляники садовой.

### Материалы и методы

Объект исследования – шесть сортов земляники крупноплодной (*Fragaria ananassa* Duch). Предположительно, данная культура является гибридом *F. chiloensis* Duch. × *F. virginiana* Duch. [14]. Земляника крупноплодная дала начало большинству сортов, которые культивируются в настоящее время во всём мире. Для исследования были выбраны 6 сортов (табл. 1).

Таблица 1.

Характеристика исследуемых сортов Земляники крупноплодной (*Fragaria ananassa* Duch)

Сорт	Селекция	Ремонтантность	Образование усов
Сибилла	Италия	нет	низкое
Альбион	США	да	низкое
Фурор	Голландия	да	низкое
Крапо	Италия	да	низкое
Сандра	Италия	нет	высокое
Чамора Турруси	Япония	нет	низкое

Семена были обработаны раствором Эпин-экстра (1 мл на 2 л воды) и посеяны на смесь вермикулита с низинным торфом (3:5). Стратифицировали семена в климатической камере при температуре +4°C и влажности воздуха 90% в темноте в течение двух недель. По истечении 14 дней произвели пикирование в торфяной грунт на стадии трех настоящих листьев. Минеральный состав грунта на 100 г вещества: азот – 1000 мг; фосфор – 350 мг;

калий – 350 мг; гуминовые кислоты – 4,5%. После пикирования растения земляники были перемещены в сконструированный сотрудниками лаборатории агробиофотоники гроубокс из двух секторов. Сектора гроубокса оснащены светодиодными фитосветильниками ECOLED-BIO-37-RF-D120-F-Trade IP65 (4000K), со следующим спектральным составом: PFD-R – 39,65%; PFD-B – 17,31%; PFD-G – 43%; PFD-FR – 3,8%.

В контрольном секторе используется только вышеуказанное освещение, а в экспериментальном секторе размещены добавочные светодиоды 730 нм (рис. 1). Таким образом, соотношение красного и дальнего красного света в контрольном секторе составляло 9,96, а в экспериментальном секторе – 0,52.

Фотопериод 16/8 часов обеспечивался механическим таймером Systec. Полив по 50 мл проводили каждые 3–4 дня. Опреде-

ление содержания фотосинтетических пигментов и регистрацию количества вегетативных побегов (усов) проводили на 40-е и 80-е сутки после пикирования. Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрическим методом при длинах волн 665, 649 и 440 нм в спиртовой вытяжке, в трехкратной повторности. Для расчета концентрации хлорофиллов а, b и каротиноидов использовали формулы Винтерманса де Мотса [15].

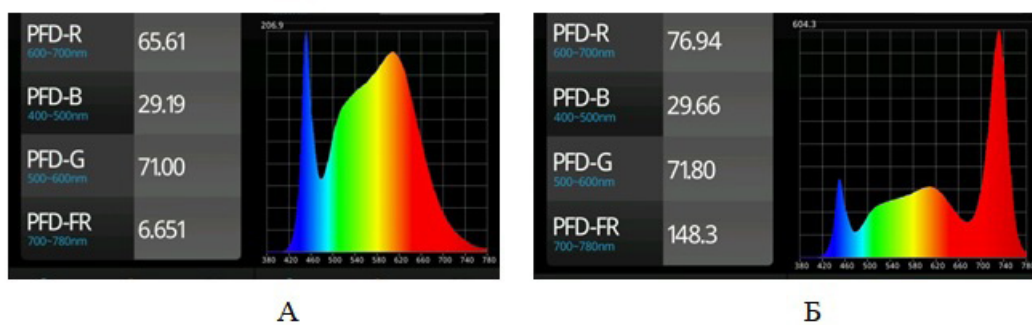


Рис 1. Спектральный состав освещения в секторах гроубокса. А) сектор контрольный (KC/ДКС = 9.9); Б) сектор экспериментальный (KC/ДКС = 0.5). PFD-R – поток фотонов в “красной зоне”, мкмоль/(м² с). PFD-B – поток фотонов в “синей зоне”, мкмоль/(м² с). PFD-G – поток фотонов в “зеленой зоне”, мкмоль/(м² с). PFD-FR – поток фотонов в “дальней красной зоне”, мкмоль/(м² с).

### Результаты и их обсуждение

Традиционно растения земляники размножают вегетативным способом. Этот способ в отличие от семенного размножения сохраняет сортовые качества и является экономичным. При культивировании земляники с целью получения плодов вегетативные побеги (усы) следует удалять, а при культивировании с целью вегетативного размножения следует редуцировать цветоносы. Существует потребность в оперативном получении посадочного материала в больших количествах перед сезоном высадки земляники крупноплодной в открытый грунт. В данном эксперименте проверяется гипотеза о том, что дополнительный дальний красный свет в спектре освещения будет приводить к стимуляции процесса усообразования.

Растения земляники развивались

успешно в обоих секторах гроубокса (рис. 2).

На 40-е сутки и 80-е в данном эксперименте осуществлялся подсчет вегетативных побегов (усов) с последующим их удалением. Результаты подсчета вегетативных побегов приведены в табл. 2.

В секторе с досвечиванием дальним красным светом был существенно простимулирован процесс усообразования у всех неремонтантных сортов земляники, исследованных в данной работе. На 80-е сутки эксперимента у растений в экспериментальном секторе количество усов на одно растение достигало значений в два и более раза превышающих те, что у растений в контрольном секторе. Превышение количества усов составило для растений сорта Сибилла 225%, для растений сорта Сандра 157%, для растений сорта Чамора Туруси 288%.



Рис. 2. Внешний вид исследуемых растений на 40-й день исследования

Таблица 2.

Количество сформировавшихся усов в варианте опыта в пересчете на одно растение земляники крупноплодной

Название сорта	40-е сутки		80-е сутки	
	контроль	эксперимент	контроль	эксперимент
Сибилла	0,33 ± 0,21	0,70 ± 0,33	1,33 ± 0,21	3,0 ± 0,26*
Альбион	0,23 ± 0,12	0,65 ± 0,16*	1,13 ± 0,48	1,40 ± 0,42
Фурор	0,50 ± 0,19	0,50 ± 0,33	0,88 ± 0,35	0,88 ± 0,35
Крапо	0,40 ± 0,21	0,17 ± 0,16	0,42 ± 0,17	0,33 ± 0,21
Сандра	0,14 ± 0,14	0,60 ± 0,30	2,0 ± 0,44	3,14 ± 0,26*
Чамора Турусн	1,29 ± 0,18	2,30 ± 0,36*	0,90 ± 0,46	2,60 ± 0,81*

Примечание: \* - отличия значимо достоверны по сравнению с контрольным вариантом.

У растений сорта Чамора Туруси достоверно большее количество усов в экспериментальном секторе по сравнению с контрольным наблюдалось и на 40-е сутки эксперимента, и на 80-е. У растений сортов Сибиλλα и Сандра только на 80-е сутки. Отмечен статистически достоверно повышенный показатель усообразования у ремонтантного сорта Альбион: на 40-е сутки – 283%. На 80-е сутки разница в активности усообразования у него же была менее значима: всего 124%. Значи-

мого увеличения активности процесса усообразования при досветке дальним красным светом у ремонтантных сортов земляники Фурор и Крапо не зафиксировано.

Также на 40-е и 80-е сутки было проведено лабораторное определение содержания основных фотосинтетических пигментов: хлорофилл а, хлорофилл б, каротиноиды. Графические результаты определения содержания пигментов представлены на рис. 3.

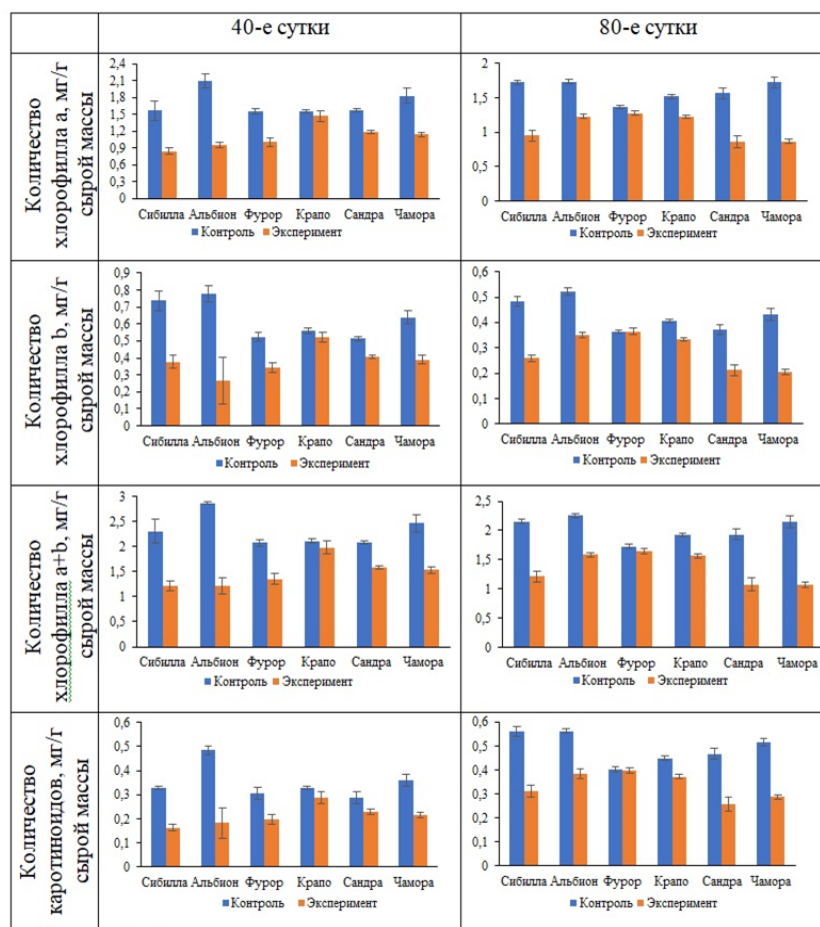


Рис. 3. Содержание основных фотосинтетических пигментов в листьях земляники садовой на 40-е и 80-е сутки

По содержанию фотосинтетических пигментов можно судить о фотосинтетическом потенциале сорта. Существует мнение, что суммарный показатель содержания хлорофилла в листьях растений является одним из определяющих параметров чистой продуктивности фотосин-

теза [16, 17], в значительной степени коррелирует с показателем интенсивности фотосинтеза. Исследования, проведенные на землянике, указывают на аналогичную зависимость [4]. Как и содержание хлорофилла, содержание каротиноидов варьируется у разных растений при

увеличении доли дальнего красного света [14].

За исключением растений земляники сорта Крапо, у растений, изученных в данном исследовании, наблюдалось достоверное снижение концентрации хлорофиллов и каротиноидов. Снижение концентрации хлорофиллов в листьях является почти универсальной реакцией на облучение дальним красным светом среди широкого круга видов. Было предложено несколько гипотез снижения содержания хлорофилла: 1) эффект «разбавления», когда под действием дальнего красного света происходит расширение листьев, и 2) прямое влияние на биосинтез хлорофилла из-за уменьшения количества фитохромов формы (Pfr) относитель-

но общего количества фитохромов [21]. Стимулирующий эффект дальних красных фотонов на расширение листьев, вероятно, способствовал «разбавлению» содержания пигментов на единицу массы листа. Данный эффект необязательно рассматривать, как негативный и ведущий к замедлению развития растений. В данном случае это объясняется перераспределением ресурсов растений для образования вегетативных побегов.

Таким образом, досветка дальним красным светом может быть успешно применена при получении рассады земляники крупноплодной неремонтантных сортов (Сандра, Сибилла, Чамора Туруси) и, возможно, для некоторых ремонтантных (Альбион).

#### Библиографический список

1. Мороз Д.С., Шпак М.Ю., Медведик С.Е. Последствие светодиодного освещения на продуктивность, урожайность и морфофизиологические параметры роста и развития земляники садовой *Fragaria × ananassa* (duchesne ex weston) Duchesne ex Rozier (1785) в условиях открытого грунта // Вестник БарГУ. Серия: Биологические науки. Сельскохозяйственные науки. – 2020. – № 8 (1). – С. 139–145.
2. Чекушкина Т.Н., Барсукова Е.Н. Влияние спектрального состава света на микроклональное размножение земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) *in vitro* // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 5 (194). – С. 10–16. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-5-10-16>.
3. Маркова М.Г., Сомова Е.Н. Совершенствование клонального микроразмножения ягодных культур // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2021. – Т. 16. – № 1 (61). – С. 39–44. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-39-44>.
4. Поух Е.В., Кобринец Т.П., Иванова О.С. Оценка морфометрических показателей регенерантов подвоев и сортов сливы домашней на этапе микроразмножения в культуре *in vitro* в зависимости от разных спектров света // Плодоводство: Сборник научных трудов. – Минск, 2021. – Т. 33. – С. 70–74. <https://doi.org/10.47612/0134-9759-2021-33-70-74>.
5. Беликова Н.А., Белякова Л.В., Высоцкий В.А., Алексеенко Л.В. Экономическая эффективность выращивания рассады земляники с использованием биотехнологических приемов // Садоводство и виноградарство. – 2011. – № 5. – С. 45–48.
6. Алексеенко Л.В., Высоцкий В.А., Баулина Л.В. Влияние спектрального состава света на продуктивность растений земляники в полевых условиях после культуры *in vitro* // Плодоводство и ягодоводство России. – 2012. – Т. 33. – С. 3–11.
7. Gao Q., Hu S., Wang X., Han F., Luo H., Liu Z., Kang C. The red/far-red light photoreceptor FvePhyB regulates tissue elongation and anthocyanin accumulation in woodland strawberry // Horticulture Research. – 2023. – Vol. 10. – № 12. – Article uhad232. <https://doi.org/10.1093/hr/uhad232>.
8. Ries J., Park Y. Far-red light in sole-source lighting can enhance the growth and fruit production of indoor strawberries // HortScience. – 2024. – Vol. 59 (6). – P. 799–805. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI17729-24>.
9. Яковцева М.Н. Фотоморфогенетическая регуляция роста и развития земляники садовой (*Fragaria × ananassa* Duch.) в условиях светокультуры: Автореф. дис. канд. биол. наук. – М., Рос. гос. аграр. ун-т, 2017. – 24 с.

10. Смирнов А.А., Прошкин Ю.А., Соколов А.В. Влияние спектрального состава оптического излучения на рост и развитие земляники садовой // Плодоводство и ягодоводство России. – 2020. – Т. 60. – С. 74–80. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2020-60-74-80>.
11. Meyer P., Verlent M., Van Doorsselaere J., Bart N., Wouter S., Hytönen T., De Coninck B., Bram V. de P. Blue and far-red light control flowering time of woodland strawberry (*Fragaria vesca*) distinctively via constans (Co) and flowering locus T1 (Ft1) in the background of sunlight mimicking radiation // Environmental and Experimental Botany. – 2022. – Vol. 198. – Article 104866. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104866>.
12. Zahedi S.M., Sarikhani H. The effect of end of day far-red light on regulating flowering of short-day strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch. cv. Paros) in a long-day situation // Russ J. Plant Physiol. – 2017. – Vol. 64. – P. 83–90. <https://doi.org/10.1134/S1021443717010198>.
13. Malekzadeh Shamsabad M.R., Esmaeilzadeh M., Roosta H.R., Dąbrowski P., Telesiński A., Kalaji H.M. Supplemental light application can improve the growth and development of strawberry plants under salinity and alkalinity stress conditions. // Sci Rep. – 2022. – Vol. 12. – № 1. – Article 9272. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12925-8>.
14. Muneer S., Kim T.H., Choi B.C., Lee B.S., Lee J.H. Effect of CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> on ROS production, photosynthesis and ascorbate–glutathione pathway to induce *Fragaria × annasa* as a hyperaccumulator // Redox biology. – 2014. – Vol. 2. – P. 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2013.12.006>.
15. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу. – М.: Академия, 2003. – 254 с.
16. Жидехина Т.В. Фотосинтетические основы продуктивности смородины черной // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИС им. И.В. Мичурина (1931-2001 гг.): Сборник научных трудов. – Тамбов, 2001. – Т. 1. – С. 17–180.
17. Овсянников А.А., Андреева А.Н. Компоненты продуктивности и урожайности земляники: Информ. лис. №231-82. – Тамбов, 1988. – 2 с.
18. Галиулина А.А. Восстановительная способность и фотосинтетическая активность листьев сортов земляники садовой в условиях северо-западной части Башкортостана // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2009. – № 4 (98). – С. 104–106.
19. Biswal U.C., Bergfeld R., Kasemir H. Phytochrome-mediated delay of plastid senescence in mustard cotyledons: changes in pigment contents and ultrastructure // Planta. – 1983. – Vol. 157. – P. 85. <https://doi.org/10.1007/BF00394545>.
20. Гудковский В.А. Каширская Н.Я., Цуканова Е.М. Окислительный стресс – основная причина снижения продуктивности и устойчивости к вредным организмам у плодовых растений // Основные итоги и перспективы научных исследований ВНИИС им. И.В. Мичурина (1931-2001 гг.): Сборник научных трудов. – Тамбов, 2001. – Т. 2. – С. 3–21.
21. Zhen S., Bugbee B. Substituting far-red for traditionally defined photosynthetic photons results in equal canopy quantum yield for CO<sub>2</sub> fixation and increased photon capture during long-term studies: implications for re-defining PAR // Front. Plant Sci. – 2020. – Vol. 11. – Article 581156. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.581156>.

**EFFECT OF SUPPLEMENTARY LIGHTING ON TENDRILS FORMATION  
AND PHOTOSYNTHETIC PIGMENTS IN LEAVES OF LARGE-FRUITED  
STRAWBERRY**

Lisina T.N., Protasova E.M.

*Perm Scientific Research Institute of Agriculture*

**For citation:**

Lisina T.N., Protasova E.M. Effect of supplementary lighting on tendrils formation and photosynthetic pigments in leaves of large-fruited strawberry // Perm Federal Research Center Journal. – 2025. – № 1. – P. 18–26. <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2025.1.2>



Lighting and its characteristics (duration of daylight hours, spectral composition of the light source) is a factor that can be used to control the development of garden strawberries (total fruit yield, number of formed leaves and peduncles). The ratio of the proportion of red (660 nm) to far red light (730 nm) in the total illumination affects strawberry fruit composition, increases leaf area and peduncle length. The aim of the study was to determine the effect of supplementary illumination with far red light on the process of tendrils formation and the content of chlorophylls and carotenoids in the leaves of six varieties of large-fruited strawberries. A decrease in the content of the basic photosynthetic pigments in the leaves of five strawberry varieties (Sibylla, Albion, Furor, Sandra, Chamora Turusi) was found in the case of supplementary illumination with far red light. Prospectivity of the use of supplementary illumination with far red light to enhance the process of tendrils development for four strawberry varieties: Sibylla, Albion, Sandra, Chamora Turusi, is shown. The results can be applied in obtaining strawberry seedlings of non-remontant varieties and, possibly, for some remontant varieties, for example, Albion variety.

*Keywords: Fragaria ananassa, far red light, chlorophyll, carotenoids, tendrils formation.*

**Сведения об авторах**

*Лисина Татьяна Николаевна*, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией агробиофотоники, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН («Пермский НИИСХ»), 614532, Пермский край, Пермский район, с. Лобаново, ул. Культуры, д. 12; e-mail: atea2@yandex.ru

*Протасова Елена Михайловна*, младший научный сотрудник лаборатории агробиофотоники, «Пермский НИИСХ»; e-mail: 19mochalova96@mail.ru

*Материал поступил в редакцию 02.12.2024*