

ВЛИЯНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НИЗКОИНТЕНСИВНОГО УЗКОПОЛОСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА МОРФОГЕНЕЗ И ПРОДУКТИВНОСТЬ *LACTUCA SATIVA*

И.Б. Минич, А.С. Минич, А.Е. Иваницкий, А.В. Гизбрехт, С.В. Гизбрехт

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный педагогический университет», Томск, Россия, minich@tspu.edu.ru

Аннотация. Изучен морфогенез и продуктивность *Lactuca sativa* на комбинированном свете с использованием светофильтров с люминофорами, поглощающих УФ-А излучение и генерирующих его в СС, ЗС и КС низкой интенсивности. Показано, что излучение от светофильтров способствует активации роста и развития салата с начала вегетации, что приводит к увеличению ассимилирующей поверхности, сырой и сухой биомассы относительно контроля. Максимальные повышение продуктивности растений отмечены под СС светофильтром.

Ключевые слова: *Lactuca sativa*, свет, светофильтр, морфогенез, продуктивность

DOI: 10.31255/978-5-94797-319-8-522-526

Для повышения продуктивности растений в светокультуре и в защищенном грунте применяют дополнительное излучение от искусственных источников [Тихомиров и др., 2000; Liu, 2012]. Для этого используют светодиоды и лампы различного типа, а также светофильтры [Аверчева и др., 2009; Ракутько и др., 2016]. Комбинированием источников излучения и светофильтров достигаются наиболее оптимальные световые условия для роста и развития растений, что способствует интенсификации ростовых процессов и повышению их продуктивности.

Сотрудниками ФГБОУ ВО «Томский государственный педагогический университет» для повышения продуктивности растений в светокультуре предложены новые по составу светофильтры. Данные светофильтры за счет содержащихся в них люминофоров поглощают часть УФ-А радиации и генерируют низкоинтенсивное люминесцентное красное (КС), синее (СС) или зеленое (ЗС) излучение.

Цель работы – изучение возможности использования светофильтров КС, СС и ЗС для активации ростовых процессов и повышения продуктивности *Lactuca sativa*.

Материалы и методы. Объектом исследований служили растения *Lactuca sativa* L. сорта Скороспелый деликатес. Салат выращивался в светокультуре семенным способом в грунте из смеси равных количеств чернозема, перегноя и торфа. Полив производился капиллярным способом. Растения выращивались на комбинированном свете (КМС) (контроль) без светофильтров и с использованием светофильтров с фотопериодом 16 часов в 4 световых вариантах. Источником излучения служили лампа ДРиЗ 150 (Рефлекс, Россия) с интенсивностью светового потока 210 Вт/м² (1055 μмоль/с*м²) (БС) и УФ лампа PL-S 9W/08 Black Light (Philips, Нидерланды) 5,83 Вт/м². Спектральный состав излучения и интенсивность светового потока определены на спектрометре AvaSpec-2048FT-2-SPU (Avantes, Нидерланды) (табл. 1), с его использованием интенсивность света была выровнена по падающим квантам.

В качестве подложки светофильтров применялись пластины из полиметилметакрилата (ПММА) толщиной 3 мм. Светофильтры готовили методом «полива» раствора ПММА в этилацетате с гетерогенным (ЗС и СС) и гомогенным (КС) содержанием люминофора на поверхность пластины ПММА с последующей сушкой при комнатной температуре. Толщина нанесенного на подложку слоя после сушки составляла 1 мм [Иваницкий и др., 2013].

Для определения площади ассимилирующей поверхности растений использовалась бумажная проекция листьев с сохранением масштаба. Измерения площади поверхности проекций листьев проводились с использованием программы по определению площади сложных фигур «AceaS 2.1», разработанной сотрудниками ФГБОУ ВО «Самарская государственная сельскохозяйственная академия». Работа программы основана на сканировании фигуры с последующим расчетом ее площади при сравнении с площадью шаблона. Погрешность определения не превышает 0,001.

Таблица 1.

Интенсивность и спектральный состав дополнительного излучения, генерируемого светофильтрами после прохождения УФ-А излучения

| Фильтр | Люминофор | | Интенсивность излучения (Вт/м ²) в диапазоне длин волн (нм): в начале эксперимента (*- на 7 сутки, ** - на 28 сутки) | | | | | | |
|--------|--------------------------------|----------------|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | марка или формула ¹ | содержание (%) | 350-400 | 403-406 | 545-547 | 470-600 | 445-470 | 445-448 | 610-618 |
| ЗС | ZS*CuClBr | 2 | 3,80 | 0,14 | 0,03 | 1,50 | - | - | - |
| | | | 3,80* | 0,14* | 0,00* | 1,50* | - | - | - |
| | | | 3,80** | 0,14** | 0,02** | 1,38** | - | - | - |
| СС | ФЛ-447 | 2 | 0,94 | 0,05 | - | - | 2,80 | 0,11 | - |
| | | | 0,95* | 0,07* | - | - | 1,53* | 0,07** | - |
| | | | 0,95** | 0,07** | - | - | 1,53** | 0,07** | - |
| КС | ТТФАА Eu | 1 | 0,20 | 0,04 | - | - | - | - | 1,08 |
| | | | 0,99* | 0,08* | - | - | - | - | 0,00* |
| | | | 0,99** | 0,08** | - | - | - | - | 0,00** |

¹Примечание: ТТФАА Eu – теноилтрифторацетилацетонат европия; ФЛ-447 – хлорфосфат стронция-бария, активированный европием; ZS*CuClBr – сульфид цинка, активированный бромидхлоридом меди

Сырая масса и масса сухого вещества растений определялась на аналитических весах Acculab ALC-210d4 (Acculab, USA) с точностью 0,1 мг. До взвешивания растения промывались водой. Для определения сухой массы растения высушивались в сушильном шкафу при температуре 105 °С до прекращения потери веса.

Статистическая обработка экспериментальных результатов проводилась с помощью программы «Microsoft Excel» с доверительным интервалом 0,95 (уровень значимости – 0,05). На рисунках приведены средние арифметические значения с двусторонним доверительным интервалом трех независимых экспериментов, каждый из которых проведен в трех биологических повторностях на 30 растениях.

Результаты и обсуждение. Результаты изменения роста, развития и продуктивности *Lactuca sativa* были сопряжены с изменением световых условий, определяемых фотофизическими свойствами светофильтров (рис. 1-3). Исследования показали, что интенсивность генерируемого светофильтрами дополнительного излучения зависит от их типа (табл. 1). Светофильтр СС практически одинаково поглощает и преобразует УФ-А излучение в течение всего периода исследований. Уменьшение на 8% отметили лишь на 28 сутки. Светопоглощающая и светопреобразующая способность светофильтра ЗС через неделю уменьшается на 45%. Светофильтр КС способен поглощать и преобразовывать УФ-А излучение лишь первые несколько дней, а через неделю люминофор в нем «выгорает».

В начале вегетации под всеми светофильтрами наблюдали более интенсивный рост и развитие растений относительно контроля. Максимальными положительными изменениями ростовых параметров характеризовались растения под КС светофильтром, что согласуется с литературными данными, в которых отмечается активация роста и развития под материалами, люминесцирующими в красной области спектра [Рогозин и др., 1998; Минич и др., 2006].

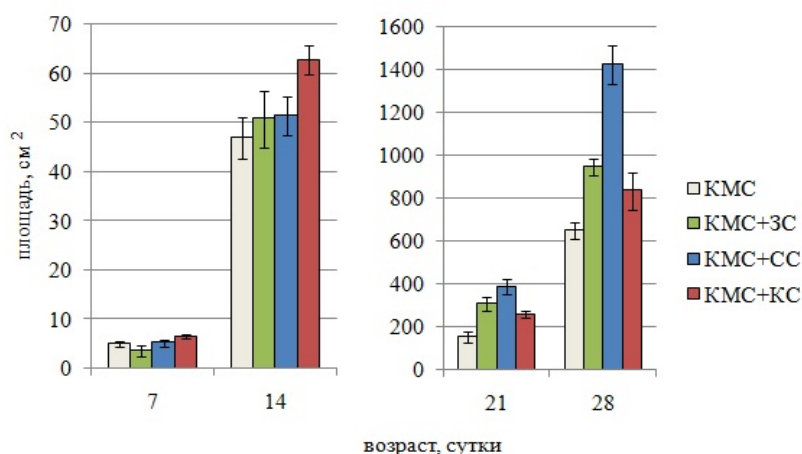


Рис. 1. Площадь поверхности листьев *Lactuca sativa*, выращенного на комбинированном свете (КМС:БС+УФ) под светофильтрами синего (СС), зеленого (ЗС) и красного света (КС).

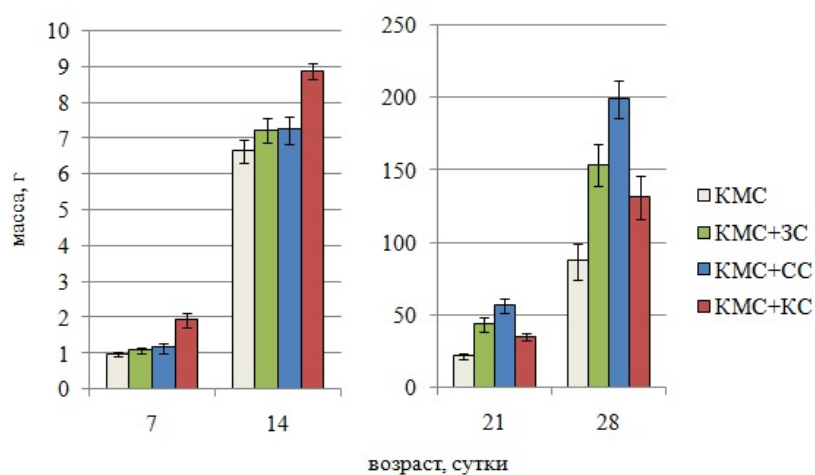


Рис. 2. Сырая масса *Lactuca sativa*, выращенного на комбинированном свете (КМС:БС+УФ) под светофильтрами синего (СС), зеленого (ЗС) и красного света (КС).

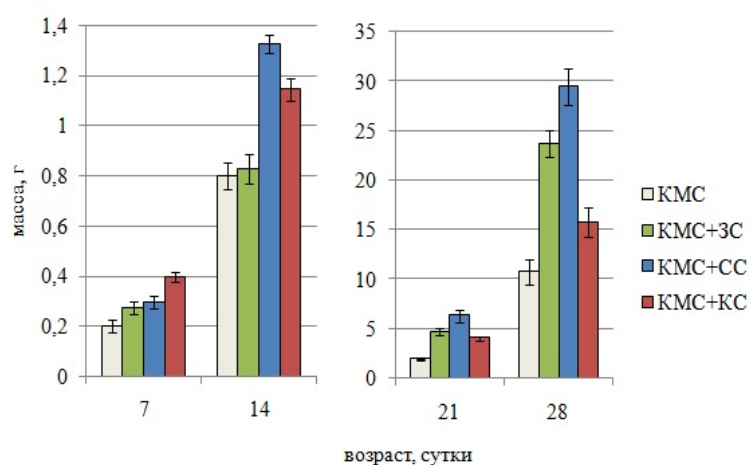


Рис. 3. Масса сухого вещества *Lactuca sativa*, выращенного на комбинированном свете (КМС:БС+УФ) под светофильтрами синего (СС), зеленого (ЗС) и красного света (КС).

Относительно контроля установили увеличение ассимилирующей поверхности, сырой и сухой биомассы на 32%, 95% и 97% соответственно. Активация ростовых процессов под КС светофильтром в начале онтогенеза позволила в дальнейшем развиваться растениям более интенсивно относительно контроля, но в меньшей степени относительно других опытных растений. Значительное торможение ростовых процессов салата под КС светофильтром связано с изменениями его фотофизических свойств – потерей поглощающей способности и люминесцентных свойств.

Под СС и ЗС светофильтрами на начальном этапе вегетации активация роста и развития *Lactuca sativa* была выражена в меньшей степени по сравнению с действием света под КС светофильтром. Отметим достоверное увеличение только массы сухого вещества – на 37 и 47% соответственно под ЗС и СС светофильтрами. В дальнейшем, особенно с 21 суток, под СС и ЗС светофильтрами наблюдали самые высокие темпы роста и развития, что способствовало максимальному повышению их продуктивности. На 28 сутки относительно контроля установили увеличение площади поверхности растений соответственно по СС, ЗС и КС светофильтрами на 119, 46 и 29%, сырой биомассы – на 128,76 и 51%, сухой биомассы – на 173, 120 и 46%.

Заключение. Использование дополнительного низкоинтенсивного узкополосного излучения от светофильтров, преобразующих УФ-А радиацию в СС, ЗС и КС, способствует активации ростовых процессов и повышению продуктивности *Lactuca sativa* L. сорта Скороспелый деликатес. Данная технология может применяться в светокультуре и защищенном грунте для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур.

Литература

Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Смолянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // Физиология растений. – 2009. – Т. 56, № 1. – С. 17–26.

Иваницкий А.Е., Колчев М.Л., Буценко С.Е. Особенности люминесцентных свойств композиций полимер-люминофор с гомогенным распределением в полимерной матрице // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2013. – Вып. 8 (36). – С. 149–153.

Минич А.С., Минич И.Б., Зеленьчукова Н.С., Карначук Р.А., Головацкая И.Ф., Ефимова М.В., Райда В.С. Роль красного люминесцентного излучения низкой интенсивности в регуляции морфогенеза и гормонального баланса *Arabidopsis thaliana* // Физиология растений. – 2006. – Т. 53, № 6. – С. 863–868.

Ракутько С.А., Маркова А.Е., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н. Применение красных и синих светодиодов в светокультуре салата // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4, Ч. 6. – С. 1073–1076.

Рогозин В.И., Минич А.С., Райда В.С. Опыт использования светокорректирующих пленок на агrobiостанции Томского государственного педагогического университета // В сборнике: Светокорректирующие пленки для сельского хозяйства. Сборник статей. Ред. В.С. Райда. – Томск, 1998. – С. 50–56.

Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. – 213 с.

Kim H.H., Goins G.D., Wheeler R.M., Sager J.C. Green-light supplementation for enhanced lettuce growth under red- and blue-light-emitting diodes // Hort. Sci. – 2004. – № 39. – P. 1617–1622.

Liu W. Light environmental management for artificial protected horticulture // Agrotechnology. – 2012. – № 1. – P. 1–4.

INFLUENCE OF ADDITIONAL LOW-INTENSIVE NARROW-BAND RADIATION ON MORPHOGENESIS AND PRODUCTIVITY OF *LACTUCA SATIVA*

I.B. Minich, A.S. Minich, A.E. Ivanitckii, A.V. Gizbrekht, S.V. Gizbrekht

Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia, *minich@tspu.edu.ru*

Abstract. Morphogenesis and productivity of *Lactuca sativa* in combined light were studied using phosphor filters with absorbing UV-A radiation and generating it into blue light, green light and low intensity red light was studied. It is shown that radiation from light filters contributes to activation of growth and development of lettuce from the beginning of vegetation, which leads to an increase in the assimilating surface, moist and dry biomass relative to control. The maximum increase in the productivity of plants is noted under a blue light filter.

Keywords: *Lactuca sativa*, light, light filter, morphogenesis, productivity