

УДК 635.52, 57.042, 58.035.1, 58.035.3, 631.81, 631.82

***ПРИМЕНЕНИЕ КРЕМНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ САЛАТА ПОД
ВОЗДЕЙСТВИЕМ СВЕТА РАЗНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА В
УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ***

Семенова Н.А.

к.с.-х.н., с.н.с.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,

Москва, Россия

Степанова Е.В.

к.ф.-м.н., с.н.с.

Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН,

Москва, Россия

Захаров Д.А.

инженер,

*Институт общей физики им. А.М. Прохорова Российской академии наук,
Москва, Россия*

Аннотация

Изучено влияние различных спектральных составов освещения на растения салата-латука (*Lactuca sativa* L.), выращиваемого на гидропонике в полной светокультуре. Обсуждается влияние добавок минерального удобрения, содержащего кремний, на растения салата при различных спектрах освещения. Показано, что преобладание красного (R) и дальнего красного (FR) излучения в спектре ведет к уменьшению листовой поверхности по сравнению с контрольной группой до 23%. Применение кремнийсодержащего удобрения не оказывает существенного влияния при соотношении интенсивностей зеленого (G) и красного (R) участков спектра освещения 1:1, в сочетании с интенсивностью синего и дальнего красного от 20 до 30 процентов общей интенсивности.

Ключевые слова: салат-латук, гидропоника, спектр освещения, плотность потока фотонов (PPFD), кремнийсодержащее удобрение.

APPLICATION OF SILICON IN GROWING LETTUCE UNDER THE INFLUENCE OF LIGHT OF DIFFERENT SPECTRAL COMPOSITION IN TOTAL CONTROL ENVIRONMENT AGRICULTURE

Semenova N. A

PhD, senior researcher,

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Stepanova E. V.

PhD, senior researcher,

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Zakharov D.A.

Engineer,

*Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia*

Abstract

The effect of various spectral lighting compositions on lettuce (*Lactuca sativa* L.) plants grown in a complete light culture on hydroponics is studied. The effect of Silicium-containing mineral fertilizer addition over lettuce plants under different lighting spectra is discussed. The predominance of red (R) and far red (FR) in the lighting spectrum is shown to cause a decrease in the leaf surface by up to 23% compared with the control group. The use of Silicium-containing fertilizer has no significant effect when the ratio of the intensities of the green (G) and red (R) wavelengths of the lighting spectrum is 1:1, combined with increased intensity of blue (B) and far red (FR) from 20 to 30% of the total intensity.

Keywords: lettuce, hydroponics, lighting spectrum, photon flux density (PFD), Silicium-containing fertilizer.

Введение

Для удовлетворения потребности организма человека в нутриентах необходимо ежедневно употреблять около 2 кг пищи. На долю растительных

продуктов должно приходиться более 60%, при этом потребление овощей по рекомендациям ВОЗ должно находиться на уровне 600 г на человека в день. В России по большинству регионов нормы потребления овощей должны достигать не менее 400 г, что особенно важно в осенне-зимний период [1]

Проблема обеспечения населения нашей страны качественными продуктами питания, в том числе растительного происхождения, остается весьма актуальной и требует решения комплекса агропромышленных задач, связанных с экономией энергии и рациональным использованием полезных площадей имеющихся культивационных сооружений. Эффективное использование площадей может быть налажено путем введения в эксплуатацию различных установок вертикального овощеводства, требующих соблюдения условий по интенсивности освещения культивируемых растений. Для экономии ресурсов в таких установках используются энергоэффективные светодиодные светильники, заменители почвогрунта, очистительные системы питательного раствора для его подачи по закрытому циклу. Вертикальные многоярусные установки могут также частично использовать естественное освещение в наиболее благоприятные периоды [2, 3].

Для выращивания в закрытом грунте актуальны различные листовые овощи, так как они за короткий период светокультуры дают 3 – 6 кг/м² хозяйственно-полезной биомассы [4], [5], а кроме того, являются источником необходимых для организма человека микроэлементов Na, Zn, Fe, Mn, Cu, Mo. Известно, что включение зеленных и пряно-вкусовых овощных культур в рацион человека дает положительный эффект, способствует профилактике и лечению многих заболеваний.

Зеленные овощи низкокалорийны, но содержат незаменимые нутриенты, поэтому их полезно включать в меню при любых диетических рекомендациях. Они содержат хлорофилл, который обладает способностью нейтрализовать токсины в крови, снижая действие тяжелых металлов, химических веществ, пестицидов [6], [7]. Культуры, пригодные для

Дневник науки | www.dnevnikaui.ru | СМН ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

всесезонного выращивания должны быть быстрорастущими, пластичными, отзывчивыми на интенсивные условия возделывания. В настоящее время полезные зеленные овощи широко выращивают независимо от сезона в защищенном грунте на гидропонике. В исследованиях и на производстве в различных странах мира показана возможность выращивания на салатных линиях более 30 видов зеленных и пряно-вкусовых культур. В России преимущественно возделывают 12 видов зеленных, в основном – салаты, а также укроп, петрушку, базилик. Остальные пряно-вкусовые культуры выращивают в меньшем объеме [8] [9]. Контроль окружающей среды и питания предоставляет дополнительные инструменты для управления ростом и развитием урожая [10], что позволяет получать стабильную продукцию независимо от сезона или внешних условий окружающей среды. Салат-латук (*Lactuca sativa* L.) и его разновидности являются модельными культурами для изучения влияния освещения на вертикальных фермах из-за их быстрого роста и короткого производственного цикла [11, 12]

Цель данной работы – исследовать влияние сочетания различного спектрального состава света, излучаемого светодиодными источниками, и использования в питательном растворе биологически активной добавки «НаноКремний» на морфофизиологические, качественные показатели и продуктивность растений салата ‘Лолло Росса’, выращиваемых малообъемным гидропонным методом в условиях искусственной закрытой агроэкосистемы.

Методика исследований

Для приготовления питательного раствора использовать комплект удобрений FloraSeries (GHE, Франция), которые включают все необходимые питательные макро- и микроэлементы. В качестве предмета исследования использовался среднеспелый сорт листового салата ‘Лолло Росса’ с

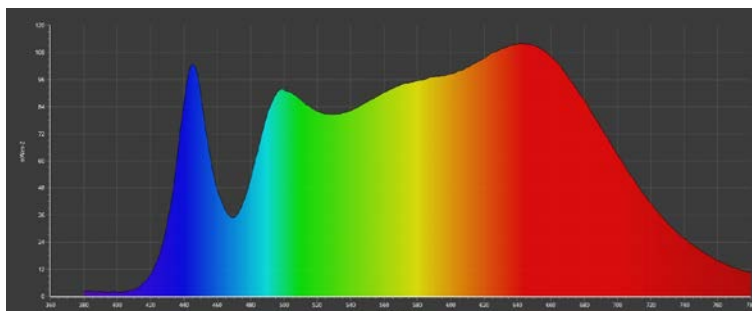
полупрямостоячей розеткой листьев высотой 20 см и 30 см в диаметре. Сорт отличается высокой урожайностью и хорошими вкусовыми качествами.

В качестве биологически активной добавки к раствору использовали препарат «НаноКремний» (0,07 г/л) производства ООО «НаноКремний» (Гос. рег. №508-11-2001-1), удобрение содержащее минеральный кремний в биологически активной форме. В препарате содержится чистый кристаллический кремний с размером частиц меньше 1 мкм, которые свободно проникают через мембраны клеток растений. В состав удобрения входят: Si 17–22%, Fe 1–4%, Cu 0,05–1%, Zn 0,05–1%.

Относительная влажность воздуха в рабочей зоне камеры составляла 65 – 70%. Температура воздуха в помещении поддерживалась на уровне $+20\pm 2^{\circ}\text{C}$. Температура питательного раствора в системе $+18\pm 2^{\circ}$.

Изучено 3 варианта спектрального состава света с различным соотношением синего (B), красного (R), зеленого (G) и дальнего красного (FR) спектральных диапазонов (рис. 1): Спектр 1 – контрольный – приближен по пропорциям к солнечному свету (B15 G35 R40 FR10); Спектр 2 характеризуется большей долей зеленого освещения (на 15%) и меньшей долей красного и дальнего красного (на 10 и 5% соответственно); Спектр 3 – снижением доли зеленого в общем спектре (на 10%) и повышением доли красного света (на 10%). Плотность потока фотосинтетически активных фотонов (PPFD) составляла $150 \pm 10\%$ мкмоль/(с·м²).

Спектр 1
(контроль)
B15 G30 R40 FR15



Спектр 2

B15 G40 R40 FR5

Спектр 3

B15 G30 R50 FR10

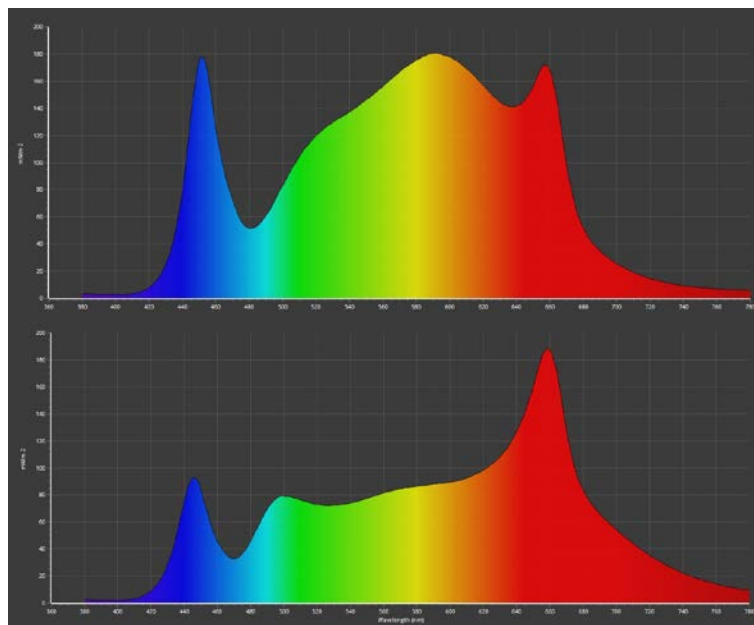


Рисунок 1. Спектральный состав освещения

В качестве субстрата использовалась минеральная вата. Все контейнеры накрывали плёнкой до появления массовых всходов, после чего проводили прореживание, оставляя в горшке по 4 ростка.

Результаты

Отбор проб производился по принципу репрезентативности на 20 сутки после появления всходов. Определялись такие показатели как высота hypocotyle, количество листьев, площадь листовой поверхности, сырая и сухая масса растений (без учета корневой системы). Площадь листьев определяли с использованием фотопланиметра Li3100 (Li-COR Area Meter, США). Для определения массы сухого вещества в растениях пробу измельчали и высушивали в сушильном шкафу при температуре 105°C до достижения постоянной массы пробы. Полученные данные представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Биометрические показатели растений салата на 20-е сутки по вариантам освещения с изменением состава питательного раствора добавлением препарата «НаноКремний» (Si)

Спектр	Si	Сыр. масса, г	Сух. масса, г	Сух. в-во, %	Кол-во листьев	Площ. листьев, см ³
1	Нет	9,893	0,515	5,2	5	315,60
		12,302	0,599	4,9	7	390,24
		10,488	0,525	5,0	6	366,61
		9,451	0,402	4,3	5	359,48
		7,229	0,347	4,8	5	252,28
1	Да	8,261	0,442	5,3	6	312,33
		6,773	0,328	4,8	6	252,49
		6,208	0,300	4,8	4	226,70
		4,361	0,216	4,9	5	181,37
		6,932	0,353	5,1	5	254,93
2	Нет	6,266	0,312	5,0	5	250,00
		9,019	0,456	5,1	6	326,4
		12,333	0,603	4,9	6	440,14
		7,298	0,372	5,1	6	347,90
		6,421	0,306	4,8	5	242,86
2	Да	6,630	0,301	4,5	5	246,74
		9,998	0,520	5,2	6	355,32
		9,522	0,545	5,7	6	340,58
		6,981	0,357	5,1	6	267,62
		8,893	0,500	5,6	6	328,61
3	Нет	2,607	0,153	5,9	4	101,00
		1,841	0,111	6,0	4	84,60
		3,162	0,189	6,0	4	128,35
		1,887	0,117	6,2	4	87,72
		1,795	0,093	5,2	4	70,02
3	Да	4,806	0,281	5,8	5	188,50
		3,917	0,240	6,1	4	151,80
		6,861	0,399	5,8	5	260,03
		3,117	0,177	5,7	5	132,38
		3,536	0,232	6,5	6	141,48

Для анализа полученных данных было выбрано значение критерия Фишера по влиянию факторов «свет» и «удобрение» на 95% уровне

значимости. С превышением данного значения критерия подтверждается отсутствие различий под влиянием соответствующих факторов.

Полученные данные достоверно указывают на угнетение образования листовой поверхности и, соответственно, недостаток свежей массы по сравнению с контрольной группой для растений, выращиваемых в светокультуре с преобладанием синего в спектре, увеличенным потоком дальнего красного и пониженной долей зеленой компоненты (рис. 2, а). Аналогичные результаты получены при расчете количества и площади листьев в розетке (рис. 2, б).

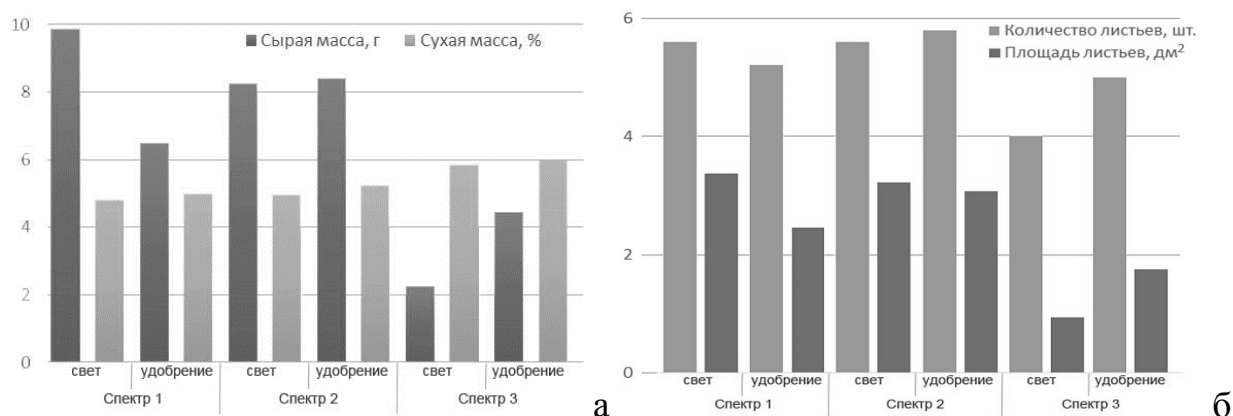


Рисунок 2. Показатели роста и развития растений салата по вариантам влияющих факторов на 20-е сутки: а) сырая и сухая масса растений; б) количество и площадь листьев в розетке

В контрольной группе по освещению, применение минерального удобрения с содержанием частиц кремния снижает сырую массу и площадь листьев. Тогда как в группах с измененными соотношениями интенсивностей спектральных компонент наоборот, применение минерального удобрения поддерживает (Спектр 2) и увеличивает (Спектр 3) значения фенологических показателей.

Согласно вычисленным групповым средним, достоверно проявилось влияние факторов «свет» и «удобрение» в 80% вариантов. Наиболее выраженное влияние на размер и массу растений оказал фактор «свет» – оно

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

привело к появлению достоверных различий в более чем 50% вариантов. При определении доли влияния факторов на величину площади листовой поверхности, около 60% изменений связано с различиями в спектрах облучения, 20% изменений связано с совместным влиянием применения кремнийсодержащих удобрений и изменением пропорций спектрального состава.

Обсуждение

Управление процессами развития растений находится в зависимости от уровня освещенности и длительности светового периода, а также от спектра искусственного источника света, при правильном их подборе уменьшается срок созревания и увеличивается производительность выбранной технологии, улучшается качество и внешний вид продукции. Спектральный состав света определяет состав продуктов, синтезируемых растениями при фотосинтезе.

В результате проведенных опытов получены достоверные данные, что для увеличения и поддержания количества и размеров листьев салата наиболее благоприятно соотношение интенсивности спектральных диапазонов (B15 G40 R40 FR5) – с увеличенной долей зеленого и красного излучений и небольшой интенсивностью дальнего красного освещения. Преобладание в спектре красного и увеличение дальнего красного (B15 G30 R50 FR10) ведет к сокращению листовой поверхности растений и уменьшению количества листьев в розетке, что согласуется с данными мирового опыта [13]

В последние годы с распространением и удешевлением LED осветителей происходит переход на полную светокультуру и вертикальное фермерство. Применение различных спектральных диапазонов освещения позволяет также увеличивать содержание целевых веществ, например антоцианов, обладающих антиоксидантной активностью, в растениях [14, 15].

Управляя количеством и качеством используемого света, в скором времени появится возможность получать продукцию сельскохозяйственных

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

культур с заданными свойствами под конкретные задачи, создавая ассортимент функционального питания для профилактики различных заболеваний, устранения дефицитов нутриентов в питании.

Влияние добавок кремния в питательный раствор при выращивании на гидропонике листовых овощей не может быть признано однозначно положительным, т.к. сочетание условий выращивания с физическими и химическими факторами оказывает разнонаправленное влияние на продуктивность листовых овощей и скорость набора ими биомассы [16]. Стрессовое воздействие от света различных спектральных составов при выращивании листовых овощей оборачивается повышением урожайности при использовании диодных осветителей [17] по сравнению с традиционными натриевыми тепличными лампами. Спектральный состав света с преобладанием синего излучения также приводит к увеличению накопления пигментов (антоцианов) в краснолистных культурах, но в данной работе влияние освещения на состав пигментов не описано.

Библиографический список:

1. Солдатенко А. В., Шатилов М. В., Иванова М. И., Разин О. А., Россинская О. В., Башкиров О. В. Межрегиональный обмен в контексте выравнивания потребления овощей в субъектах Федерации // Овощи России. – 2018. – Т. 6, № 1. – С. 41-46.
2. Пивоваров В. Ф., Сирота С. М., Кононков П. Ф. Продовольственная безопасность России: состояние производства, потребления овощей и семеноводства овощных культур // Овощи России. – 2009. – Т. 2. – С. 15-19.
3. Сирота С. М., Козарь Е. Г., Пинчук Е. В., Балашова И. Т., Степанов В. А., Молчанова А. В. Получение экологически чистой овощной зелени репы листовой с высоким содержанием антиоксидантов на многоярусной

узкостеллажной гидропонике // Проблемы и перспективы инновационного развития экономики. Инновационные направления отраслевого и территориального развития АПК. – 2017. – С. 287-293.

4. Нурминский В.Н., Захаров Ю.Б. Влияние спектрального состава и интенсивности. Механизмы устойчивости растений и микроорганизмов к неблагоприятным условиям среды // Сборник материалов Годичного собрания Общества физиологов растений России, Всероссийской научной конференции с международным участием и школы молодых ученых. В 2-х частях. – 2018.

5. Пономарева Н.Е., Грачева Н.Н., А.А. П. Влияние уровня освещенности на продуктивность кресс-салата // Агротехника и энергообеспечение. – 2018. – Т. 4, № 21.

6. Гусев А.М. Целебные овощные растения. // Издательство МСХА. – 1991. – С. 240

7. Пивоваров В.Ф. Овощи России // ВНИИССОК. – 2006. – С. 380

8. Сирота С.М., Балашова И.Т., Козарь Е.Г., Пинчук Е.В. Новые технологии в овощеводстве защищённого грунта. // Овощи России. – 2016. – Т. 4. – С. 3-9.

9. Сирота С.М. М. О. А., Харченко В.А., Бондарева Л.Л., Балашова И.Т., Джос Е.А., Белавкин Е.С., Матюкина А.А. Новые сорта и культуры для выращивания на гидропонных стеллажных установках в современных рассадных комплексах // Овощи России. – 2018. – Т. 2, № 3. – С. 3-9.

10. Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production. / Kozai T., Niu G., Takagaki M., 2015. – 1-405 с.

11. Li Q., Kubota C. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce // Environmental and Experimental Botany - ENVIRON EXP BOT. – 2009. – Т. 67. – С. 59-64.

12. Lin K.-H., Huang M.-Y., Huang W.-D., Hsu M.-H., Yang Z.-W., Yang C.-M. The effects of red, blue and white light-emitting diodes (LEDs) on growth,

development and edible quality of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa* L. var. capitata) // *Scientia Horticulturae*. – 2013. – Т. 150. – С. 86-91.

13. Meng Q., Kelly N., Runkle E. Substituting green or far-red radiation for blue radiation induces shade avoidance and promotes growth in lettuce and kale // *Environmental and Experimental Botany*. – 2019. – Т. 162.

14. Semenova N. A., Smirnov A. A., Grishin A. A., Pishchalnikov R. Y., Chesalin D. D., Gudkov S. V., Chilingaryan N. O., Skorokhodova A. N., Dorokhov A. S., Izmailov A. Y. The Effect of Plant Growth Compensation by Adding Silicon-Containing Fertilizer under Light Stress Conditions // *Plants*. – 2021. – Т. 10, № 7. – С. 1287.

15. Smirnov A., Semenova N., Proshkin Y., Ivanitskikh A., Chilingaryan N., Panchenko V. UV-A, UV-B, and UV-C Irradiation Influence on Productivity and Anthocyanin Accumulation in Lettuce, Mustard and Basil Plants in Reduced Light Conditions, 2023. – С. 3-12.

16. Семенова Н.А., Чилингарян Н.О., Иваницких А.С., Дорохов А.А., Павлова Е.В. Влияние спектрального состава света и кремнийсодержащего удобрения Силиплант на морфологические показатели базилика в условиях закрытых искусственных агроэкосистем // *Бюллетень Главного Ботанического Сада* –2021. – Т. 3. – С. 25-32.

17. Proshkin Y., Semenova N., Smirnov A., Chilingaryan N. The LED phyto lighting for improving the environmental friendliness of growing and productivity of lettuce varieties with red and green leaves // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2020. – Т. 578, № 1. – С. 12-13.

Оригинальность 76%