

Научная статья
УДК 581.14.143
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_224_04_10

Культивирование микрорастений двух видов рода *Actinidia* при разных спектрах светодиодных источников

О.В. Наконечная✉, И.В. Гафицкая, Е.П. Субботин, Ю.Н. Кульчин

Ольга Валериевна Наконечная

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия
markelova@biosoil.ru
<http://orcid.org/0000-0002-9825-277X>

Ирина Викторовна Гафицкая

ведущий инженер
ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия
gafitskaya@biosoil.ru
<http://orcid.org/0000-0002-3100-8668>

Евгений Петрович Субботин

кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник
Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия
s.e.p@list.ru
<http://orcid.org/0000-0002-8658-3504>

Юрий Николаевич Кульчин

академик РАН, доктор физико-математических наук, профессор, научный руководитель
Институт автоматки и процессов управления ДВО РАН, Владивосток, Россия
<http://orcid.org/0000-0002-8750-4775>
kulchin@iacp.dvo.ru

Аннотация. Оценено влияние монохроматических (DR (660 нм), R (630), Y (600), G (514), B (457), RB (437 нм)) и полихроматических (CW (447 и 547 нм), W (447 и 550), WW (447 и 477), FS (443 и 657), SB (460 и 497 нм)) спектров излучения на рост микрорастений *Actinidia polygama* и *A. arguta*. Первые лучше развивались при использовании полихроматических спектров WW, FS и монохроматического – G, вторые – полихроматического SB и монохроматических Y и G. Применение монохроматических спектров определенных длин волн положительно влияет на развитие микрорастений изученных видов рода *Actinidia*.

© Наконечная О.В., Гафицкая И.В., Субботин Е.П., Кульчин Ю.Н., 2022

Ключевые слова: растения, *in vitro*, искусственное освещение, спектр, светодиоды

Для цитирования. Наконечная О.В., Гафицкая И.В., Субботин Е.П., Кульчин Ю.Н. Культивирование микрорастений двух видов рода *Actinidia* при разных спектрах светодиодных источников // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 4. С. 117–125. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_224_04_10.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-16-00016).

Original article

Cultivation of two microplants species of *Actinidia* genus at the different spectra of led sources

O.V. Nakonechnaya, I.V. Gafitskaya, E.P. Subbotin, Yu.N. Kulchin

Olga V. Nakonechnaya

Candidate of Sciences in Biology

Senior Researcher

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, Russia

markelova@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0002-9825-277X>

Irina V. Gafitskaya

Leading Engineer

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, Russia

gafitskaya@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0002-3100-8668>

Evgeniy P. Subbotin

Candidate of Sciences in Physics and Mathematics

Leading Researcher

Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia

s.e.p@list.ru

<http://orcid.org/0000-0002-8658-3504>

Yuri N. Kulchin

Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Sciences in Physics and Mathematics, Professor

Scientific Supervisor

Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok, Russia

<http://orcid.org/0000-0002-8750-4775>

kulchin@iacp.dvo.ru

Abstract. The influence of monochromatic (DR (660 nm), R (630 nm), Y (600 nm), G (514 nm), B (457 nm), RB (437 nm)) and polychromatic (CW (447 and 547 nm), W (447 and 550 nm), WW (447 and 477 nm), FS (443 and 657 nm), SB (460 and 497 nm)) LED spectra on the development of *Actinidia polygama* and *Actinidia arguta* microplants was studied. Well-developed

A. polygama microplants were grown by using WW, FS, and G monochromatic spectra. The best *A. arguta* microplants were obtained under polychromatic (SB) and monochromatic (Y and G) spectra. Using monochromatic spectra of certain wavelengths positively affected the microplants development of the studied species of the *Actinidia* genus.

Keywords: plants, in vitro, artificial lighting, spectrum, LEDs

For citation: Nakonechnaya O.V., Gafitskaya I.V., Subbotin E.P., Kulchin Yu.N. Cultivation of two microplants species of *Actinidia* genus at the different spectra of led sources. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(4):117-125. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_224_04_10.

Funding. The research was carried out by financial support the Russian Science Foundation (grant No. 20-16-00016).

Культивирование растений при искусственном освещении в последнее время становится все более актуальным. Между тем для развития каждого вида растений, а иногда и сорта необходимы свои параметры света [1–4]. Культурами, востребованными для выращивания, являются в том числе виды рода *Actinidia* L. (сем. Actinidiaceae Hutch. – актинидиевые).

Актинидия полигамная («перчик») – *Actinidia polygama* (Siebold & Zucc.) Planch. ex Maxim. – лиана высотой 2,5–6 м, произрастает в Приморском крае, Японии, Северо-Восточном Китае [5]. В восточной медицине отнесена к лекарственным растениям [6]. В растении содержатся витамины В₂, В₆, никотинамид, в листьях – каротиноиды, в плодах – тритерпеноиды [7]. В Японии молодые листья и зрелые плоды употребляют в пищу. В плодах отмечено высокое содержание аскорбиновой кислоты, сахара и органических кислот [6].

Актинидия острая – *Actinidia arguta* Miq. – летнезеленая деревянистая лиана, одна из самых крупных двудомных вьющихся лиан российского Дальнего Востока, достигающая высоты 25 м. Произрастает в РФ только на юге РДВ [8], за его пределами встречается в Японии и Китае [5]. Плоды крупные, съедобные, их употребляют в пищу в свежем и переработанном виде [6]. Растение лекарственное [5]. В стеблях присутствуют янтарная, урсоловая, олеаноловая и др. кислоты, также найдены фукостерин и флавоноиды [7].

Эти виды в природе не являются редкими, но антропогенный пресс на их популяции усиливается. Потому исследование размножения биотехнологическим методом важных ресурсных видов является актуальным. С помощью микроклонирования можно получить большое число растений в короткий промежуток времени. От качества одного из основных факторов выращивания – света – будет зависеть успех размножения. В связи с этим целью работы было изучение влияния на рост *Actinidia polygama* и *A. arguta in vitro* разных спектров светодиодных источников. В работе приведены первичные результаты исследований.

Материалы и методы

Работа была начата в ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (Владивосток) в лаборатории сектора микроклонального размножения лесных, сельскохозяйственных и декоративных культур в 2020 г. Для экспериментов использовали микрорастения двух видов рода *Actinidia* – *A. polygama* и *A. arguta* (оба представлены мужскими растениями) из коллекции ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

В качестве эксплантов использовали микрочеренки с листовым узлом, их помещали вертикально на безгормональную питательную среду Мурасиге и Скуга [9] с половинной концентрацией макро- и микроэлементов и хелата железа. Экспланты культивировали в лабораторных условиях при температуре +24 °С, 16-часовом фотопериоде (16/8) и 60–70%-й относительной влажности воздуха. Для эксперимента применяли освещение 11 различными светодиодными источниками: CW (холодный белый), W (белый), WW (теплый белый), FS (красно-синий), SB (солнечный), DR (темно-красный), R (красный), Y (желтый), G (зеленый), B (синий), RB (темно-синий). Для контроля (К) использовали люминесцентные лампы OSRAM L 36W/765. Характеристики длин волн приведены в табл. 1. Детальное описание источников освещения опубликовано ранее [10]. Интенсивность освещения составила 48,5 мкмоль/с · м². Длительность эксперимента – 28 сут.

Измерения морфометрических параметров (высоты микрорастений, числа и размеров листьев, сырой массы надземной зеленой части и корней) проводили в конце периода культивирования. Полученные данные обрабатывали с использованием пакета программ Microsoft Office Excel и STATISTICA.

Таблица 1

Параметры спектров светодиодных источников, использованных в эксперименте

| Пик | Длина волны, нм | | | | | | | | | | | |
|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | К* | CW | W | WW | FS | SB | DR | R | Y | G | B | RB |
| 1-й | 433 | 447 | 447 | 447 | 443 | 460 | 660 | 630 | 600 | 514 | 457 | 437 |
| 2-й | 547 | 547 | 550 | 477 | 657 | 497 | – | – | – | – | – | – |

* Здесь и в других таблицах – контроль.

Результаты и обсуждение

Анализ результатов показал, что микрорастения *A. polygama* и *A. arguta* имели разные тенденции к развитию под полихромными и монохромными источниками освещения.

Экспланты *A. polygama* под всеми вариантами развивались схожим образом, что привело к близким значениям высоты, кроме группы, выращенной под спектром В, где отмечена минимальная высота.

Высота микрорастений *A. arguta* в целом больше у тех, которых освещали монохромными спектрами (рис. 1). Максимальная высота отмечена у микрорастений, культивированных при свете желтого спектра (Y), они превышали микрорастения контрольной группы в 2 раза. Минимальные значения параметра – у микрорастений, выращенных при освещении светом «белых» спектров (CW, W, W).

Наибольшее число листьев у *A. arguta* выявлено при культивировании при освещении монохроматическим В и полихроматическим WW спектрами (рис. 1), у *A. polygama* – G и WW спектрами. Минимальные значения параметра у обоих видов выявлены у растений группы SB.

Число междоузлий у двух видов рода *Actinidia* в контрольной группе одинаковое (рис. 2). Такое же их число у *A. arguta* отмечено под спектрами WW, FS, SB, DR, RB, в то время как у *A. polygama* – только под спектром G. Для микрорастений, культивированных под монохроматическим излучением, отмечено

увеличение длины междоузлий, в отличие от выращенных под полихроматическими спектрами.

Максимальные значения длины и ширины листьев у двух видов рода *Actinidia* отмечены у микрорастений, выращенных под монохромными спектрами R, Y и G (табл. 2, 3). Из полихромных спектров, при которых развивались крупные листья, можно отметить SB для *A. arguta*.

Сырая надземная масса *A. arguta* больше, чем *A. polygama* во всех исследованных вариантах освещения в 2–3 раза. Максимальные значения сырой массы надземной части отмечены у микрорастений *A. arguta*, культивированных под SB и G вариантами освещения (рис. 1). Немного ниже значения показателя у микрорастений, выращенных под спектрами Y, B и RB. У *A. polygama* максимальные значения сырой массы отмечены при спектрах WW, FS, G и RB.

Сырая масса корневой системы *A. arguta* была больше у микрорастений, культивированных под G, Y и SB освещением. Для *A. polygama* отмечено лучшее накопление сырой массы для микрорастений, выращенных под полихроматическими спектрами, по сравнению с монохроматическими (кроме G), максимальные значения показателя отмечены для WW, FS и G спектров.

Монохроматические спектры (кроме B) способствовали формированию высоких микрорастений *A. arguta* с крупными листьями и развитой корневой системой.

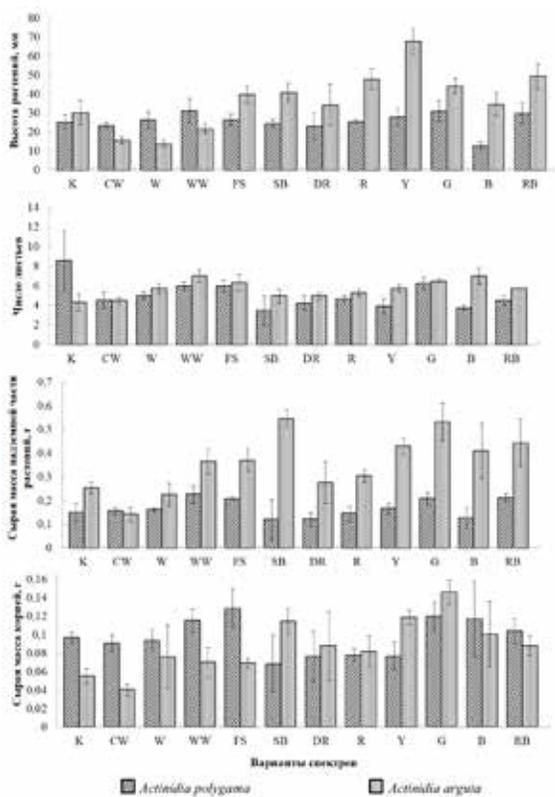


Рис. 1. Диаграмма морфометрических характеристик микрорастений *Actinidia polygama* и *A. arguta*, культивированных под разным спектральным светодиодным освещением

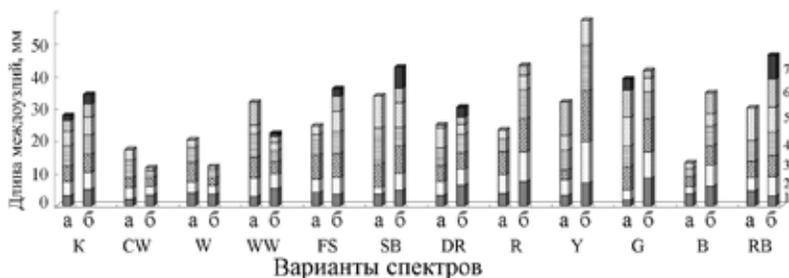


Рис. 2. Диаграмма длины междоузлий микрорастений двух видов рода *Actinidia*, культивированных под разным спектральным светодиодным освещением. а – *Actinidia polygama*, б – *A. arguta*. 1–7 – средние значения длины первого и последующих междоузлий

Размеры листьев микрорастений *Astinida polygama* (мм), культивированных при разных спектрах светодиодных источников

| Лист, № | Параметр | К | CW | W | WW | FS | SB | DR | R | Y | G | B | RB |
|---------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | Длина | 11,9 ± 2,9 | 7,2 ± 1,5 | 10 ± 1,7 | 13,9 ± 1,1 | 13,1 ± 2 | 8,4 ± 3,9 | 9,9 ± 1,3 | 13,6 ± 2 | 11,3 ± 1,6 | 14 ± 3,3 | 13,8 ± 2,7 | 16,6 ± 1,5 |
| | Ширина | 7,9 ± 1,8 | 3,6 ± 0,8 | 6,2 ± 1 | 10,2 ± 0,4 | 9,6 ± 1,8 | 7 ± 3,4 | 7,2 ± 0,6 | 8,1 ± 0,5 | 6,6 ± 1,5 | 7,6 ± 1,3 | 9,5 ± 1,8 | 11,3 ± 1,7 |
| 2 | Длина | 9 ± 2,8 | 10,6 ± 1,9 | 15,6 ± 2,2 | 13,9 ± 3,2 | 13,5 ± 2,5 | 14,2 ± 3,0 | 13,4 ± 1,6 | 13,3 ± 0,7 | 13,9 ± 2,2 | 14,1 ± 1,8 | 16,4 ± 3 | 19,3 ± 4,6 |
| | Ширина | 7,2 ± 1,7 | 9 ± 1,9 | 11,8 ± 0,5 | 11,1 ± 2,2 | 11 ± 2,9 | 9,5 ± 1,1 | 10,1 ± 1,6 | 9,4 ± 1,7 | 10,6 ± 2,3 | 9,8 ± 0,8 | 12,2 ± 3,1 | 13,2 ± 2,7 |
| 3 | Длина | 13,1 ± 3,6 | 16,1 ± 1,3 | 14,2 ± 1,1 | 16,5 ± 2,6 | 13,1 ± 0,8 | 23,9 ± 0 | 18,1 ± 1,1 | 21,4 ± 1,8 | 14,3 ± 4,2 | 17,6 ± 3,4 | 15,4 ± 1,7 | 19,1 ± 5,4 |
| | Ширина | 10,7 ± 2,5 | 12,4 ± 1,4 | 10,4 ± 1 | 11,4 ± 2,6 | 6,8 ± 1,6 | 15,4 ± 0 | 13,1 ± 0,7 | 13,2 ± 0,9 | 9,6 ± 2,4 | 12 ± 1,9 | 11,3 ± 0,3 | 12,8 ± 4 |
| 4 | Длина | 16,4 ± 1,1 | 16 ± 0,9 | 16,8 ± 1,6 | 20,3 ± 2,1 | 18,5 ± 2,8 | 13,8 ± 0 | 18,2 ± 1,6 | 20,3 ± 1,4 | 16,7 ± 0,4 | 18 ± 1,2 | 11,7 ± 3,2 | 15,5 ± 2,9 |
| | Ширина | 12,6 ± 2,3 | 12,6 ± 0,8 | 13,5 ± 1,1 | 13,7 ± 1,4 | 14,5 ± 3,4 | 10 ± 0 | 12,6 ± 0,1 | 13,5 ± 0,7 | 12,1 ± 1,8 | 11,3 ± 0,9 | 8,1 ± 1,6 | 9,6 ± 2,6 |
| 5 | Длина | 10,5 ± 1,4 | 15,2 ± 1,4 | 16,6 ± 1,5 | 14,6 ± 4,1 | 19,8 ± 4,2 | 6,6 ± 0 | 11,4 ± 1,2 | 12,3 ± 2,8 | 18,6 ± 3,2 | 17,6 ± 3,3 | — | 8,5 ± 1,5 |
| | Ширина | 6,9 ± 1,2 | 10 ± 1,4 | 12,7 ± 1,1 | 9 ± 2,1 | 14,5 ± 4,1 | 2 ± 0 | 6,9 ± 1,7 | 7,6 ± 0,8 | 12,9 ± 1,7 | 12,9 ± 1,9 | — | 6,2 ± 1,3 |
| 6 | Длина | 7,7 ± 2,3 | 15,6 ± 1,2 | 12,4 ± 0 | 14,7 ± 0,6 | 15,3 ± 0 | — | 5,8 ± 0 | — | 17,5 ± 0 | 11 ± 1,5 | — | — |
| | Ширина | 5,2 ± 1,3 | 12,2 ± 2,8 | 9,5 ± 0 | 10,9 ± 0,2 | 10,9 ± 0 | — | 2,7 ± 0 | — | 11,2 ± 0 | 7 ± 0,8 | — | — |
| 7 | Длина | — | — | — | 10,7 ± 0 | — | — | — | — | — | 8,6 ± 0 | — | — |
| | Ширина | — | — | — | 4,9 ± 0 | — | — | — | — | — | 4,4 ± 0 | — | — |

В то же время микрорастения *A. polygama* при выращивании под монохроматическими спектрами имели меньшее число листьев и значение массы сырой надземной части, но показатели сырой массы корней были высокие. Ранее показано, что монохроматический свет любой длины волны не способствует нормальному развитию растений [10, 11]. Растения картофеля *in vitro*, культивируемые при монохроматическом узкополосном свете (DR, R, Y, G), были слабыми с мелкими листьями, плохо развитыми корнями и с сильно удлиненными стеблями [10]. В работе с *Lactuca sativa* L. использование зеленого светодиода (G, 510 нм) высокой интенсивности оказало положительное влияние на рост растений [12]. Высота растений у хризантем и томатов увеличивалась при освещении зеленым (G) и желтым (Y) светом и уменьшалась при использовании синего света [13]. Синий свет (B) способствовал формированию укороченных микрорастений картофеля с крупными листьями, хорошо развитыми корнями и надземной частью [10]. В нашем эксперименте синий спектр (B) оказал схожее влияние на микрорастения только *A. polygama*, в то время как микрорастения *A. arguta*, выращенные под B спектром, имели средние значения высоты, близкие к таковым у микрорастений, культивируемых под полихроматическими спектрами (K, SB и FS).

Для микрорастений *A. polygama* лучшие значения морфометрических параметров отмечены при использовании полихроматических спектров WW

Размеры листьев микрорастений *Actinidia arguta* (мм), культивируемых при разных спектрах светодонных источников

| Лист, № | Параметр | К | CW | W | WW | FS | SB | DR | R | Y | G | B | RB |
|---------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|
| 1 | Длина | 5 ± 0,9 | 5,3 ± 1,8 | 7,3 ± 1,9 | 9,7 ± 4,7 | 10 ± 1,8 | 10,3 ± 3,7 | 4 ± 0 | 11,3 ± 2,3 | 11 ± 4,6 | 7 ± 0,6 | 8,8 ± 2,7 | 5,3 ± 1,8 |
| | Ширина | 3,5 ± 0,9 | 4 ± 1 | 5 ± 0,9 | 7 ± 2,5 | 6,5 ± 1,2 | 6,8 ± 3 | 3 ± 0 | 10 ± 2 | 7,3 ± 2,6 | 6 ± 0,6 | 6,3 ± 2,5 | 3,3 ± 1,5 |
| 2 | Длина | 12,5 ± 1,9 | 11,3 ± 3,4 | 9,5 ± 2,2 | 13 ± 2,9 | 17 ± 2,1 | 13,3 ± 2,9 | 9,3 ± 2,7 | 19 ± 2,4 | 19,3 ± 2,2 | 18 ± 1,2 | 16,5 ± 4,7 | 21 ± 4,7 |
| | Ширина | 7,5 ± 1 | 7,7 ± 1,7 | 8 ± 1,6 | 8,8 ± 2,3 | 11,3 ± 1,9 | 8,8 ± 1,1 | 6 ± 2,3 | 14,3 ± 1,3 | 14 ± 2,1 | 13 ± 1,8 | 12,5 ± 3,30 | 16 ± 4,2 |
| 3 | Длина | 15 ± 1,96 | 12 ± 0,6 | 13,5 ± 1,5 | 17 ± 2,9 | 15 ± 0,7 | 21,8 ± 3,6 | 17,7 ± 3,7 | 23,5 ± 1,3 | 23,7 ± 3,5 | 21,8 ± 3 | 18,3 ± 1,7 | 17,3 ± 2,7 |
| | Ширина | 10,3 ± 1,1 | 9,3 ± 0,9 | 8 ± 0,8 | 10,8 ± 2,3 | 12 ± 0,9 | 14,5 ± 2,3 | 11,3 ± 2,9 | 14,8 ± 0,8 | 15,7 ± 0,9 | 13 ± 2,9 | 12,5 ± 1,3 | 11 ± 2,1 |
| 4 | Длина | 18,7 ± 2,4 | 16,7 ± 2,3 | 19 ± 3 | 15,5 ± 2,1 | 25,5 ± 1,3 | 21,3 ± 1,8 | 17,3 ± 0,3 | 24 ± 2 | 26,7 ± 1,8 | 27,8 ± 1,4 | 21,3 ± 2,5 | 12,7 ± 6 |
| | Ширина | 15,7 ± 0,7 | 12,7 ± 1,2 | 13,5 ± 2,5 | 10,8 ± 1,7 | 18,3 ± 1 | 14,8 ± 2,4 | 11 ± 0,6 | 15 ± 1,9 | 18,3 ± 1,2 | 22,3 ± 1 | 16 ± 2,5 | 11,3 ± 2,4 |
| 5 | Длина | 15,5 ± 0,5 | 14 ± 0 | 19 ± 5 | 18,3 ± 4,5 | 16 ± 0,6 | 23,5 ± 2,6 | 15,3 ± 1,2 | 15,3 ± 4,4 | 18,3 ± 2 | 23 ± 4,3 | 17,8 ± 2,1 | 16 ± 1,2 |
| | Ширина | 13,5 ± 3,5 | 12 ± 0 | 11,5 ± 4,5 | 13,7 ± 4,4 | 9,3 ± 1,2 | 13,8 ± 2,2 | 11 ± 1 | 9,7 ± 3,2 | 10 ± 2 | 14 ± 1,8 | 12,8 ± 2,1 | 11,3 ± 0,7 |
| 6 | Длина | 17 ± 1 | - | - | 19,3 ± 2,7 | 15,3 ± 0,3 | 30 ± 9 | 16,3 ± 0,9 | 25 ± 0 | 16 ± 0 | 15,7 ± 0,3 | 9,3 ± 2,3 | 20,7 ± 1,5 |
| | Ширина | 9,5 ± 1,5 | - | - | 15,3 ± 2,7 | 10 ± 1 | 20 ± 2 | 10,3 ± 0,7 | 15 ± 0 | 10 ± 0 | 9 ± 1,5 | 5,7 ± 1,3 | 15,3 ± 0,3 |
| 7 | Длина | 11 ± 0 | - | - | 18 ± 0 | 14 ± 8 | 12 ± 8 | 33 ± 0 | - | - | - | - | 17,3 ± 2 |
| | Ширина | 6 ± 0 | - | - | 11 ± 0 | 10 ± 7 | 6,5 ± 3,5 | 24 ± 0 | - | - | - | - | 10,7 ± 2,9 |

и FS. Положительное влияние полихроматических спектров на развитие растений картофеля отмечено ранее [10]. В этой работе авторы показали, что вариант освещения SB способствовал развитию микрорастений с равной длиной междоузлий, хорошо развитой корневой системой и большой сырой массой надземной части. В нашем эксперименте также можно отметить положительное влияние спектра SB на микрорастения *A. arguta*. В то же время при использовании других полихроматических вариантов (CW, W) мы получили микрорастения с меньшими значениями параметров высоты, надземной массы и корней, что отражает неоднозначное влияние полихроматических спектров на развитие микрорастений.

Заключение

Предварительные результаты влияния спектров освещения на развитие микрорастений двух видов рода *Actinidia* показали, что *A. polygama* и *A. arguta* по-разному реагируют на одни и те же спектры освещения. Для *A. polygama* лучшие результаты получены при использовании полихроматических спектров WW, FS и монохроматического G. Хорошо развитые растения *A. arguta* сформированы под полихроматическими спектрами SB, Y и монохроматическим G.

Настоящая работа показала возможность применения монохроматических спектров освещения определенных длин волн для успешного выращивания двух видов рода *Actinidia*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Наконечная О.В., Грищенко О.В., Хроленко Ю.А., Булгаков В.П., Бурковская Е.В., Григорчук В.П., Прокуда Н.А., Холин А.С., Гафитская И.В., Михеева А.В., Орловская И.Ю., Бурдуковский М.Л., Субботин Е.П., Кульчин Ю.Н. Влияние светодиодного освещения на морфогенез, содержание аскорбиновой кислоты, P, K, Ca в растениях *Eruca sativa* // Физиол. растений. 2021. Т. 68, № 2. С. 194–205.
2. Gupta S.D., Jatothu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis // Plant Biotechnology Reports. 2013. Vol. 7. P. 211–220.
3. Kulchin Yu.N., Nakonechnaya O.V., Gafitskaya I.V., Grishchenko O.V., Epifanova T.Y., Orlovskaya I.Y., Zhuravlev Yu.N., Subbotin E.P. Plant morphogenesis under different light intensity // Defect Diffus. Forum. 2018. Vol. 386. P. 201–206.
4. Rocha P.S.G., Oliveira R.P., Scivittaro W.B. New light sources for *in vitro* potato micropropagation // Biosci. J. 2015. Vol. 31, N 5. P. 1312–1318.
5. Буч Т.Г. Сем. Актинидиевые – Actinidiaceae Hutch. // Сосудистые растения советского Дальнего Востока. Т. 5. СПб.: Наука, 1991. С. 117–119.
6. Крючков В.А. Редкие плодовые и декоративные культуры (актинидия, айва, лимонник, принсеция). Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. акад., 1995. 44 с.
7. Растительные ресурсы России и сопредельных государств: ч. I – Семейства Lycopodiaceae – Ephemerae, ч. II – Дополнения к 1–7 томам. СПб.: Мир и семья-95, 1996. 571 с.
8. Kozhevnikov A.E., Kozhevnikova Z.V., Kwak M., Lee B.Y. Illustrated flora of the Primorsky Territory [Russian Far East]. Incheon: National Institute of Biological Resources, 2019. 1124 p.
9. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures // Physiologia Plantarum. 1962. Vol. 15, N 3. P. 473–497.
10. Grishchenko O.V., Subbotin E.P., Gafitskaya I.V., Vereshchagina Yu.V., Burkovskaya E.V., Khrolenko Yu.A., Grigorchuk V.P., Nakonechnaya O.V., Bulgakov V.P., Kulchin Yu.N. Growth of micropropagated *Solanum tuberosum* L. Plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic LED lights // Hortic. Plant J. 2021. Vol. 8, iss. 2. P. 205–214.
11. Chen X.L., Yang Q.C., Song W.P., Wang L.C., Guo W.Z., Xue X.Z. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation // Sci. Hortic. 2017. Vol. 223. P. 44–52.
12. Johkan M., Shoji K., Goto F., Hahida S.N., Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa* // Environ. Exp. Bot. 2012. Vol. 75. P. 128–133.
13. Mortensen L.M., Strømme E. Effects of light quality on some greenhouse crops // Sci. Hortic. 1987. Vol. 33, N 1–2. P. 27–36.

REFERENCES

1. Nakonechnaya O.V., Grishchenko O.V., Khrolenko Yu.A., Bulgakov V.P., Burkovskaya E.V., Grigorchuk V.P., Prokuda N.A., Kholin A.S., Gafitskaya I.V., Mikheeva A.V., Orlovskaya I.Yu., Burdukovskii M.L., Subbotin E.P., Kul'chin Yu.N. Effect of LED lighting on morphogenesis and content of ascorbic acid, P, K, and Ca in *Eruca sativa* plants. *Russ. J. Plant Physiol.* 2021;68(2):356-366.
2. Gupta S.D., Jatothu B. Fundamentals and applications of light-emitting diodes (LEDs) in *in vitro* plant growth and morphogenesis. *Plant Biotechnology Reports.* 2013;7:211-220.
3. Kulchin Yu.N., Nakonechnaya O.V., Gafitskaya I.V., Grishchenko O.V., Epifanova T.Y., Orlovskaya I.Y., Zhuravlev Yu.N., Subbotin E.P. Plant morphogenesis under different light intensity. *Defect Diffus. Forum.* 2018;386:201-206.
4. Rocha P.S.G., Oliveira R.P., Scivittaro W.B. New light sources for *in vitro* potato micropropagation. *Biosci. J.* 2015;31(5):1312-1318.
5. Buch T.G. Сем. Актинидиевые – Actinidiaceae Hutch. In: *Sosudistye rasteniya sovetского Dal'nego Vostoka* = [Vascular plants of the Soviet Far East]. Vol. 5. SPb.: Nauka; 1991. P. 117-119. (In Russ.).
6. Kryuchkov V.A. Redkie plodovye i dekorativnye kul'tury (aktinidiya, aiva, limonnik, prinsepiya) = [Rare fruit and ornamental crops (actinidia, quince, magnolia vine, princepia)]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering Acad.; 1995. 44 p. (In Russ.).
7. Rastitel'nye resursy Rossii i sopredel'nykh gosudarstv: chast' I – Semeistva Lycopodiaceae – Ephemerae, chast' II – Dopolneniya k 1–7 tomam = [Plant resources of Russia and neighboring states: Pt I.

Families Lycopodiaceae – Ephedraceae; pt II. Supplements in volumes 1–7]. SPb.: Mir i sem'ya-95; 1996. 571 p. (In Russ.).

8. Kozhevnikov A.E., Kozhevnikova Z.V., Kwak M., Lee B.Y. Illustrated flora of the Primorsky Territory [Russian Far East]. Incheon: National Institute of Biological Resources; 2019. 1124 p.

9. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497.

10. Grishchenko O.V., Subbotin E. P., Gafitskaya I.V., Vereshchagina Yu.V., Burkovskaya E.V., Khrolenko Yu.A., Grigorchuk V.P., Nakonechnaya O.V., Bulgakov V.P., Kulchin Yu.N. Growth of micropropagated *Solanum tuberosum* L. Plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic LED lights. *Hortic. Plant J.* 2021;8(2):205-214.

11. Chen X.L., Yang Q.C., Song W.P., Wang L.C., Guo W.Z., Xue X.Z. Growth and nutritional properties of lettuce affected by different alternating intervals of red and blue LED irradiation. *Sci. Hortic.* 2017;223:44-52.

12. Johkan M., Shoji K., Goto F., Hahida S.N., Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environ. Exp. Bot.* 2012;75: 128-133.

13. Mortensen L.M., Strømme E. Effects of light quality on some greenhouse crops. *Sci. Hortic.* 1987;33(1–2):27-36.