

УДК 58.035.4

DOI: 10.15587/2519-8025.2020.202116

ВЛИЯНИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОГО СВЕТА С РАЗНЫМИ ДЛИНАМИ ВОЛН НА РОСТ АКВАРИУМНЫХ РАСТЕНИЙ

О. О. Шугуров

Цель работы – определение эффективности роста аквариумных растений в условиях их отдельного монохроматического освещения (красные, желтые, зеленые и синие волны) при непрерывной экспозиции в течение 60 суток при 20 – 22 °С.

Материалы и методы. Для исследования были выбраны водные растения, живущие на разных слоях толщи воды – роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L., 1753), эхинодорус четырехреберный (*Echinodorus quadricostatus* Fasset, 1955), пистия телорезовидная (*Pistia stratiotes* L., 1753). Аквариумы объемом 3 литра были обернуты черной бумагой для устранения внешнего освещения. Над поверхностью воды были закреплены по 6 светодиодов марки FYL-3014 SRC. Эти светодиоды генерировали волны с длиной $\lambda=660$ нм (красные), 590,2 нм (желтые), 574 нм (зеленые) и 470 нм (синие). Общую мощность волн разного цвета регулировали с помощью переменных резисторов. Освещение растений проводили в непрерывном режиме. В процессе исследований раз в 15 дней измеряли массу растений, длину листьев и корней.

Результаты. В процессе работы было отмечено, что увеличение массы, прирост листьев и корней *Echinodorus quadricostatus* и *Ceratophyllum demersum* был максимальным при их освещении синим светом (суммарный прирост морфометрических параметров – 31 % и 37 % соответственно). Меньший прирост отмечен для красного света (16 % и 33 %). Желтый и зеленый свет давали слабо выраженный прирост параметров на 5 – 6 %. Для *Pistia stratiotes* максимальный рост отмечен прежде всего для массы растения при красных волнах освещения (14 %), для синих и зеленых параметры почти не изменялись. Монохроматический желтый свет приводил к ухудшению роста этого растения. В работе оценен усредненный эффект суммарного воздействия монохроматического света по всем исследуемым параметрам на различные водные растения. По нашим данным синий и красный свет достаточно эффективно поддерживают рост всех водных растений, при освещении водной системы желтым и зеленым светом рост водных растений был минимальным.

Выводы.

1. Водные растения, при непрерывном монохроматическом освещении, вне зависимости от вида и места произрастания (водная поверхность – *Pistia stratiotes*, толща воды – *Ceratophyllum demersum*, дно водоема – *Echinodorus quadricostatus*), проявляют интенсивный рост под действием синего или красного света : максимальные увеличения массы, длины корней, линейных размеров листьев за 60 суток достигают 30 – 35 % (для разных видов растений).
2. Отдельно используемые зеленый и желтый свет у водных растений дают или незначительный позитивный эффект роста (5 – 8 %), или даже приводят к торможению роста и гибели (*Pistia stratiotes*).
3. Монохромное освещение аквариумных систем может быть использовано с целью минимизации энергетических затрат при специализированном и промышленном выращивании водных растений для пищевых задач, а также для размножения их отдельных декоративных видов.
4. Выращивание аквариумных растений можно осуществлять только при их непрерывном освещении только синим или красным светом, однако, при этом следует учитывать специфику проникновения волн разной длины сквозь толщу воды и глубину водных резервуаров.
5. Дополнительное освещение аквариумных растений зеленым и желтым светом можно рекомендовать для использования в аквариумистике в небольших количествах, в основном как декоративный элемент в эстетических целях, поскольку позитивного влияния на рост растений не было выявлено

Ключевые слова: монохроматический свет, освещение, аквариумные растения, морфометрические параметры, рост

Copyright © 2020, O. Shugurov.

This is an open access article under the cc by license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).

1. Введение

Водные растения используют для оформления искусственных водоёмов, аквариумов. Отмечается важное значение водных растений-оксигенаторов в ландшафтном дизайне. В естественных водоемах

растения-оксигенаторы, играющие важную роль в естественном очищении и насыщении воды кислородом, также являются убежищем для рыб, повышающим их комфортность существования [1]. Поэтому всегда важно создать определенные условия

для роста и увеличения количества ростков таких растений.

В домашних аквариумах освещение используют для обеспечения, как физиологических потребностей растений, так и эстетического внешнего вида аквариума. С этой целью применяют ряд различных осветительных приборов, в частности лампы накаливания, люминесцентные и светодиодные лампы, а также их комбинирование. Каждая из ламп имеет свои преимущества и недостатки при использовании для освещения аквариума. В настоящее время полупроводниковые светодиоды используют для специализированного освещения растений, причем приводятся обоснования энергетических характеристик при выборе источников монохроматического (красного, зелёного и синего) света [2]. Указанный подход дает возможность рассчитать световой поток и спектр энергии, мощность излучения за выбранный промежуток времени. Подбор светодиодов разных длин волн способствует улучшению роста рассады и позволяет благотворно влиять на ряд её параметров [3]. Также фитолампы используют для дополнительного освещения или предварительного освещения комнатных растений и рассады как определенный фактор увеличения продолжительности солнечного дня [4].

Подобные исследования свидетельствуют о необходимости разработок специализированных системы освещения растений, произрастающих в разных условиях [5]. Управление освещением позволяет модулировать мощность источников питания для светодиодов с разными длинами волн, что обеспечивает повышение скорости роста сельскохозяйственных растений. Показано, что светодиодные системы относительно белых люминесцентных ламп, дают аналогичные морфологические эффекты при меньших энергетических затратах [6]. Таким образом, применение отдельных монохроматических волн или их комбинаций дает, как эффект экономии энергии, так и преимущества в стимуляции отдельных фотореакций растений [7]. Положительный эффект светодиодного освещения волнами различного спектра на фотосинтетический аппарат подтверждено на многих наземных растениях: картофеле (*Solanum tuberosum*) [8], хризантеме садовой [9], китайской листовой ка-

пусте [10] Можно видеть, что раздельное освещение уже давно применяется с целью выяснения наиболее эффективных длин волн, способных влиять на скорость роста и развитие различных видов растений [11].

Водные растения, к сожалению, в аспекте влияния на них отдельных световых волн практически не исследованы. В связи с этим, становится очевидным, что данное направление исследования является актуальным и важным, как для оценки биологической специфики влияния разного состава света на различные водные растения, так и для практического использования методов их выращивания в условиях закрытых технических систем.

Целью данной работы стало определение эффективности роста аквариумных растений в условиях раздельного монохроматического (красные, желтые, зеленые и синие волны) освещения. Соответственно задачами исследования стало выяснение влияния изменений морфометрических параметров трех видов водных растений, произрастающих в разных слоях толщи воды при их непрерывном освещении в течение 2-х месяцев.

2. Материалы и методы

Для исследования использовали следующие водные растения – роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L., 1753), эхинодорус четырехреберный (*Echinodorus quadricostatus* Fasset, 1955) и пистию телорезовидную (*Pistia stratiotes* L., 1753) (рис. 1). Выбор этих видов был обусловлен их разным отношением к условиям освещения, в связи с разным местопроизрастанием (в толще воды, на дне аквариума, на поверхности воды) и необходимостью сравнения изменений в морфометрии безкорневых и укореняющихся водных растений.

В процессе многократных (10 повторов) опытов использовали емкости объемом 3 л, в которые заливали аквариумную воду, где ранее находились (не менее 1 месяца) аналогичные растения и рыбы. На дно емкостей клали слой мелкого щебня (для закрепления корневых растений в субстрате) высотой 1–2 см. Высаживали опытные растения (по 3 единицы каждого исследуемого вида) приблизительно одного размера и массы.



Рис. 1. Виды растений, использованные в исследованиях: а – роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum*), б – эхинодорус четырехреберный (*Echinodorus quadricostatus*); в – пистия телорезовидная (*Pistia stratiotes*).

Емкости обертывали черной бумагой для устранения любого внешнего освещения, на емкости были установлены крышки, в каждой из которых было закреплено по 6 светодиодов (диаметр излучающей поверхности каждого – 3 мм) марки FYL-3014 SRC с напряжением питания 3 В. В соответствии с заявленными характеристиками, светодиоды генерируют длины волн: $\lambda = 660$ нм (красные), 590,2 нм (желтые), 574 нм (зеленые) и 470 нм (синие). Их питание производилось от источника в 6 В методом попарного соединения. На выходе каждого светового пула ставили переменный резистор с целью выравнивания мощности тока групп светодиодов. Общий входной ток группы светодиодов достигал 40 мА, световой поток – 12 лм на каждый диод независимо от его цвета. Освещение растений проводили в непрерывном режиме.

Перед переносом растений в емкости с водой их предварительно обсушивали от воды бумажным полотенцем, затем с помощью штангенциркуля проводили замеры морфометрических параметров: для *Ceratophyllum demersum* – длину стебля (см), общую массу растения (г); для *Echinodorus quadricostatus* – длину корня (см), длину и ширину листьев (см), общую массу растения (г), для *Pistia stratiotes* – длину корня (см), массу растения (г) (массу определяли с помощью электронных весов с точностью до 0,01 г).

После переноса растений в емкости проводили их непрерывное освещение монохроматическим светом в течение 60 дней (2 месяца) при поддержании температуры на уровне 22–24 °С. В течении эксперимента раз в 15 дней проводили последовательные измерения указанных параметров растений, также проводился анализ изменения окраски водных растений. В процессе исследования дополнительную аэрацию воды не проводили. Статистическую обработку

полученных данных проводили с помощью программы Statistic v.6.

3. Результаты и обсуждение

Характерно, что выбранные для экспериментов растения развиваются на разной глубине водоемов, что приводит к необходимости использовать только определенные длины волн, которые на разных глубинах имеют разные диапазоны. Так, пистия (рис. 1, в) плавает непосредственно на поверхности воды, что формально позволяет ей использовать любые длины видимых волн. Роголистник (рис. 1, а) развивается в толще воды, но, как правило, в аквариуме находится в неглубоких водных слоях. Эхинодорус (рис. 1, б) произрастает закрепившись корнями в донном грунте, поэтому его острые листья в процессе разрастания растения стремятся вверх, для увеличения количества падающей на них световой энергии.

Указанная специфика, соответственно, позволяет ожидать, что эффект влияния монохроматического света на выбранные растения будет существенно отличаться, что можно использовать в случае выращивания отдельных видов водных растений.

В наших исследованиях обнаружено, что указанные растения, произрастающие на разных глубинах, при воздействии монохроматических световых волн показывают различную скорость роста. Так, эхинодорус в целом наиболее эффективно растет при освещении синим светом (рис. 2, а–в). Самым интенсивным для него было увеличение средней массы растений при освещении синим светом (рис. 2, а), достигающее 150 % к концу периода исследования. Монохроматический красный свет увеличивал прирост массы до 10 %. Желтый свет вызывал малый прирост массы (максимум – до 5–6 %), а монохроматические зеленый – приводил к общему снижению роста растений на аналогичную величину.

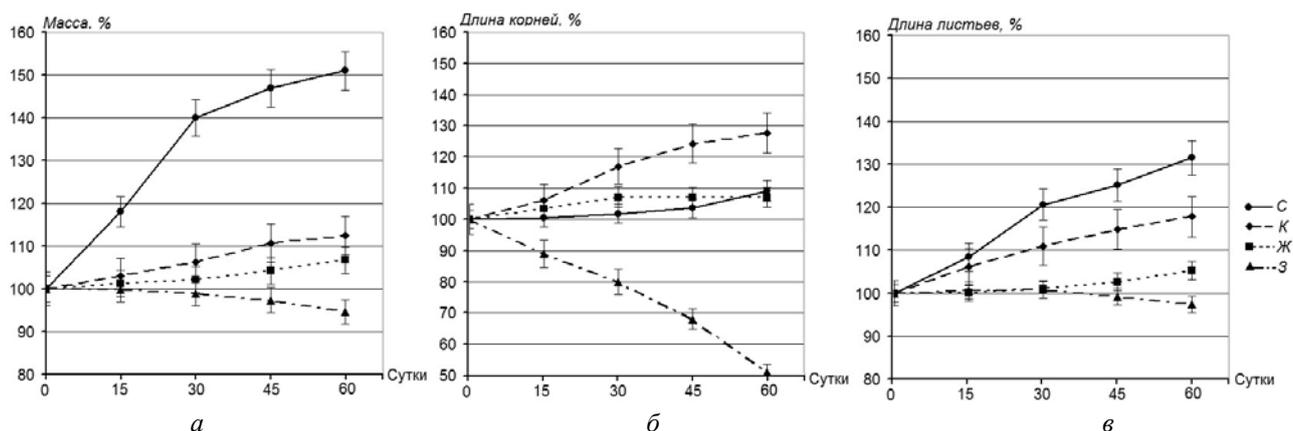


Рис. 2. Морфометрические параметры эхинодоруса при освещении монохроматическим светом (С – синий, К – красный, Ж – желтый, З – зеленый): а – масса растений в % от среднего значения в каждой серии (100 % – среднее по всем опытам – 0,32 г); б – средняя длина корней растений, в % (средняя величина – 10,65 см); в – суммарная длина листьев растения (среднее значение – 19,6 см). На графиках приведены средне-квадратические отклонения (при $p < 0,05$)

Сходная картина (но менее выраженная) выявлена при измерении суммарной длины листьев эхинодоруса (рис. 2, в). Наиболее эффективный рост снова отмечен при синем свете (до 30 %), менее эффективными оказались волны красного света (при-

рост 17 %). Изменения длины листьев для желтого и зеленого цвета волн были аналогичны изменениям массы (рис. 2, а).

Существенно отличается характеристика изменения суммарной длины корней эхинодоруса в от-

вет на воздействие монохроматического света (рис. 2, б). Наибольший рост отмечен в условиях освещения растений красным светом (увеличение до 17 %), значительно меньше – волнами синего и желтого цвета (8,9 % и 7,2 % соответственно). Зеленый свет вызвал у эхинодоруса практически линейное уменьшение суммарной длины корней (до 50 % в течении 60 суток).

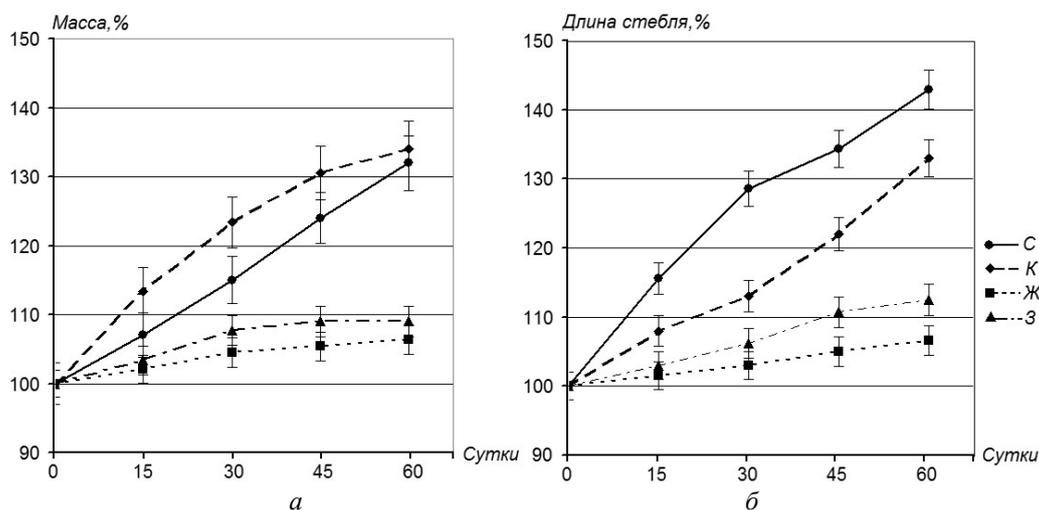


Рис. 3. Морфометрические параметры роголистника при освещении монохроматическим светом (С – синий, К – красный, Ж – желтый, З – зеленый): а – масса растений в % от среднего значения в каждой серии (100 % – среднее во всех опытах – 2,23 г); б – длина стебля, в % (100 % – средняя величина – 15,37 см).

На всех графиках приведены среднеквадратические отклонения (при $p < 0,05$).

В целом, такое водное растение как роголистник показало сходные результаты с эхинодорусом. Ввиду того, что это растение не имеет корней, а поглощает вещества поверхностью стебля и листьев, измерения ограничились оценкой массы растений и длины стебля (рис. 3, а, б). Масса этих растений изначально сильнее возрастает при освещении растений красным светом (рис. 3, а), однако через 45 суток после начала исследований происходило определенное торможение такого роста с итоговым позитивным значением в 34,5 %. При этом, практически линейное увеличение массы при действии синих монохроматических волн показывает аналогичные результаты – увеличение на 33 %. В то же время, зеленый и желтый монохроматический свет давали прирост менее 10 %, причем зеленый свет был немного эффективнее.

Одновременно (рис. 3, б), длина стебля растения была большей в случае влияния синего света, относительно прироста при красном (43,5 % и 33,3 соответственно). То есть, разрастание стебля происходило более интенсивно (на 10 %) при воздействии синего света по отношению к красному. В то же вре-

При применении синих и красных участков спектра растения имеют природный зеленый цвет, листья и корни обладают равномерной плотностью тканей. Желтый и зеленый свет приводили к деградации зеленых пигментов, растения приобретали блеклую желто-зеленую окраску, корневая система при освещении зеленым светом проявляла дряблость и даже наблюдалось гниение некоторых корешков.

мя, линейный рост стебля роголистника под действием зеленого и желтого света соответствовал тенденциям, отмеченным для массы растений.

Наконец, характер изменений морфометрических параметров плавающих на поверхности воды аквариума растений (пистия) существенно отличался от погруженных видов (рис. 4, а, б). Прежде всего отмечается сравнительно слабое увеличение массы растений при любых видах монохроматического света, включая красный, при котором такое увеличение составило 9,5 %. Две другие из используемых монохроматических волн (синий и зеленый свет) показали еще меньший положительный эффект (вплоть до отсутствия достоверного прироста). Монохроматический желтый свет приводил к изменению окраски листьев растений до желто-серого, уменьшения их массы и последующей гибели.

У пистии сходный характер показали изменения такого морфометрического параметра как длина корней (рис. 4, б). Корни прекращали рост и загнивали, что приводило к гибели всего растения. Следует отметить, что уменьшение длины корней и снижение массы растений происходило одновременно.

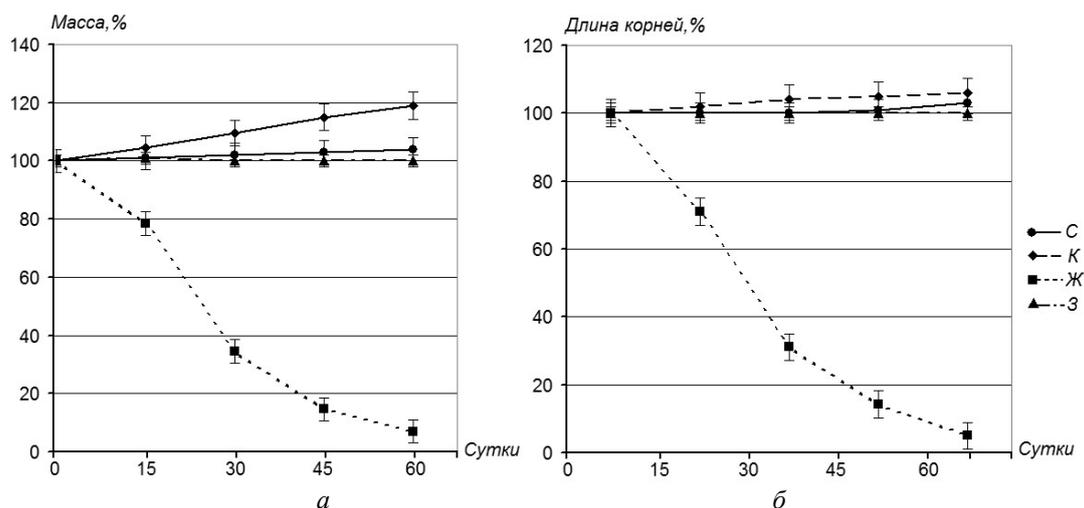


Рис. 4. Морфометрические параметры пистии телорезовидной при освещении монохроматическим светом разной длины волны (С – синий, К – красный, Ж – желтый, З – зеленый):

а – масса растений в % от среднего значения в каждой серии (100 % – среднее во всех опытах – 0,29 г);

б – суммарная длина корней, в % (100 % – 2,75 см).

На графиках приведены среднеквадратические отклонения (при $p < 0,05$)

В наших опытах при освещении красным светом все растения в течении всего эксперимента имели характерный зеленый цвет. У эхинодоруса он вызвал выраженный позитивный эффект: средняя длина корня (рис. 2, б) увеличилась в среднем на 27 %, масса – на 12 % (рис. 2, а), общая длина листьев – на 18 % (рис. 2, в). Позитивный эффект выявлен и у роголистника: длина его стебля увеличилась на 33 % (рис. 3, б), а масса на 34 % (рис. 3, а). Пистия также показала выраженный прирост массы на 18 % (рис. 4, а), но рост корней (рис. 4, б) – был небольшим (около 4 %). Следовательно, такой свет способствует активному делению клеток выбранных аквариумных растений, что проявлялось в виде увеличения массы растений, улучшения развития корневой системы, роста стебля и корней в длину.

В аквариуме с синими светодиодами (длина волны – 470 нм) также наблюдалось увеличение изучаемых параметров растений (рис. 2). У эхинодоруса значительно (на 51 %) увеличилась масса (рис. 2, а), чуть меньше (32 %) – длина листьев (рис. 2, в), несколько меньше (до 9 %) – длина корней (рис. 2, б). Роголистник также выявил существенный прирост массы (до 34 %) и стебля (44 %), причем оба параметра во времени увеличивались практически линейно (рис. 3, а, б). Почти не изменялись (рис. 4) исследуемые параметры у пистии – 3 – 4 % (на уровне ошибки). Однако, при этом, у всех исследуемых растений окраска растений была ярко зеленой, а ткань – сочной и плотной.

В аквариуме со светодиодами зеленого цвета (рис. 3) с длиной волны 574 нм, показатели были удовлетворительными у роголистника (прирост массы на 9 % и длины стебля на 12 %). Эхинодорус, произрастающий на дне аквариума, показал крайне негативные результаты: уменьшение массы растения на 5 %, уменьшение длины корневой системы на 50 %, уменьшение длины листьев (за счет локального гниения) – на 3 %. Пистия также показала негативные результаты (рис. 4) – за 60 дней эксперимента

практически не произошло увеличения ни одного морфометрического параметра.

При освещении желтым светом (длина волны 590 нм) многие показатели растений также были неудовлетворительными. Масса, длина корней, стебля или листьев эхинодоруса и роголистника увеличивались очень слабо – от 4 до 7 % максимально. Для светлюбивой, растущей на поверхности воды, пистии, монохроматический желтый свет был практически губительным по всем параметрам (рис. 4) – растения изменяли окраску, сгнивали и погибали.

Усредненный эффект суммарного воздействия (СВ) монохроматических волн по всем исследуемым параметрам на различные водные растения приведен на рис. 5. По нашим данным, синий и красный свет достаточно эффективно влияют на рост всех водных растений. Однако, мы не можем говорить, что желтый свет для пистии или зеленый свет для эхинодоруса специфично угнетают их рост и жизнедеятельность. Вероятно, что электромагнитные волны, не улавливаемые фотосинтезирующими тканями растения, приравниваются к отсутствию света как такового (режиму темноты).

Можно видеть (рис. 5, а), что *Echinodorus quadricostatus* лучше растет при освещении синим светом, чуть хуже – красным, а при желтом и зеленом свете – рост растений практически отсутствует. *Ceratophyllum demersum* показал аналогичное значительное увеличение морфометрических параметров растения (рис. 5, б). Наконец, *Pistia stratiotes* наиболее эффективно развивается при освещении красным светом, слабо (или совсем не увеличивает значения морфометрических показателей) при освещении синим и зеленым светом, угнетается и гибнет при монохроматическом освещении чисто желтым светом (рис. 5, в).

Следует добавить, что основными характеристиками природного света является его спектральный состав, интенсивность, суточная динамика. Современные лампы накаливания потребляют

много электроэнергии, но имеют суммарный благоприятный спектр. Люминесцентные лампы более экономичные, равномерно рассеивают свет по ак-

вариуму, но более габаритные и требуют дополнительных устройств для своего пуска, содержат вредные элементы.

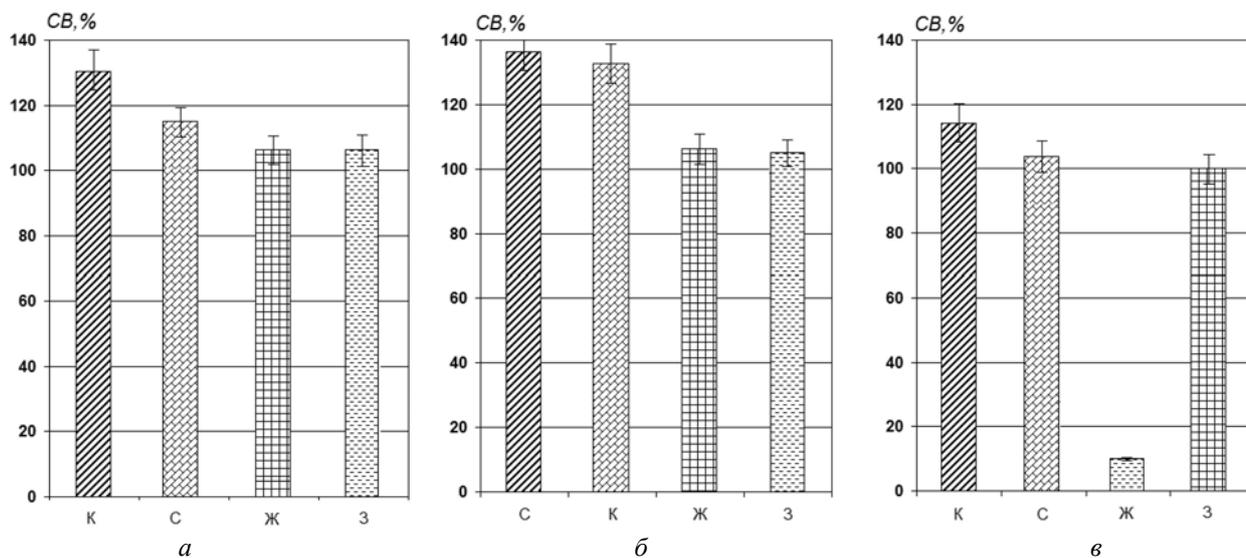


Рис. 5. Суммарное воздействие (CB, в %) монохроматического света разных длин волн, оказанное через 60 суток после непрерывного освещения на исследуемые водные растения: а – эхинодорус, б – роголистник, в – пистию. С – синий свет, К – красный, Ж – желтый, З – зеленый.

4. Обсуждение результатов исследования

Оценивая результаты исследований нужно отметить, что под воздействием солнечного излучения идут: энергетические (фотосинтез), информационные (фотоморфогенез, фотопериодизм, фототропизм), биосинтетические (синтез хлорофилла и витаминов) и деструктивно-модифицирующие реакции (фитореактивация, фотосенсибилизация). Регуляторная роль света хорошо заметна в условиях освещения растений различным монохроматическим светом [8, 10], причем красные и синие лучи активно регулируют рост растений и стимулируют деление клеток.

Общие требования к освещению для качественного фотосинтеза проявляют четыре аспекта света: уровень освещенности, качество света, время, продолжительность освещения [12]. Влияя на фотосинтез, эти аспекты обеспечивают растения энергией, необходимой для ассимиляции углерода и обеспечивая структуры и морфологии растений [13]. Поток энергии, ($Вт \cdot м^2$) или фотонное излучение ($мкмоль/(м^2 \cdot с)$), определяет скорость, с которой энергия приходит в реакционные центры фотосинтеза.

Спектр, состав длин волн света важен потому, что сами фотоны отличаются вероятностью поглощения фотосинтетическим комплексом, поэтому они имеют разную способность изменять ассимиляцию углерода. Так, в опытах на комнатных растениях выявлено, что монохроматический свет различных длин волн может влиять на их первичный и вторичный метаболизм [14].

В опытах *in vitro* у лилии кавказской в процессе роста при освещении различной силы и спектра (синий и красный) выявлено, что биометрические параметры листьев и количество микролуковиц изменялись, что определялось спецификой фотосинтетических пигментов [15]. Следовательно, существует

прямая корреляция между длинами световых волн и их влиянием на растения, которая определяется наличием определенных пигментов в листьях. В наше время определены спектры поглощения основных пигментов растений, а также доказана необходимость смены параметров освещения на разных стадиях их продуктивного роста [16].

У высших растений восприятие света формируется с участием криптохромов (светочувствительных белков). Это сигнальные системы, дающие оценку направления света, интенсивности, длины волны, временную продолжительность [17, 18]. К ним относятся рецепторы ультрафиолетового и синего цвета (криптохромы CRY1 и CRY2), рецепторы красного света (фитохромы PHYA и PHYE) [19].

Спектральный состав света влияет и на морфометрические характеристики (что показано на основе анализа роста и развития салата – *Lactuca sativa L.*), оцененные с помощью машинного контроля [20], в случае, когда растения выращивали при монохроматическом освещении волнами белого, синего, зеленого или желтого света при равной мощности. Было показано, что площадь листьев коррелировала со спектральным составом света, при том как разницы в показателях сухой массы обнаружено не было.

Современные светодиоды дают точные значения длин волн, более надежны, имеют большой срок работы (около 50000 ч), не содержат вредных и хрупких материалов [21]. Для наземных растений наибольшее значение имеют красные (720–600 нм) и оранжевые (620–595 нм) волны, являющиеся основным поставщиком энергии для фотосинтеза, и влияют на их физиологические процессы, а желтые (595–565 нм) и зеленые (565–490 нм) не играют особой роли в жизни растений. Знания о потребностях в определенном спектральном составе света конкретных

растений необходимы для правильного подбора источников их искусственного освещения [22].

С учетом того, что водные растения практически не исследовались на предмет влияния монохроматического света, многие описанные выше эффекты, полученные на сельскохозяйственных растениях, скорее всего можно применить и к полученным нами результатам. Выявленные изменения подтверждают, что и изученные водные виды растений (*Echinodorus quadricostatus*, *Ceratophyllum demersum*, *Pistia stratiotes*), живущих на разных уровнях водной системы, также наиболее выгодно выращивать (с точки зрения экономии энергии и скорости роста) при освещении синим или красным светом, а возможно, их сочетанием. Также выявлено, что у многих водных растений волны желтого и зеленого цвета практически не могут поглощаться тканями.

Создание наиболее эффективных методик выращивания водных растений предполагает подбор видов, которые наиболее интенсивно растут под действием одинаковых длин волн (цвета). Можно говорить о том, что выбор аквариумных растений для совместного выращивания или дизайнерских задач должен производиться с учетом особенностей определенных видов по отношению к показателям освещенности, в том числе и длинам волн.

Ограничения исследования. Проведенные исследования не позволяют точно предсказать реакцию любого водного растения на рассмотренные длины волн монохроматического света, с учетом того, что существует ряд видов аквариумных растений красного, фиолетового (например, разные виды нимфей, людвигия ползучая) и желтого (людвигия болотная) цвета, пигментные системы которых могут иначе воспринимать исследованные длины волн.

Перспективы дальнейших исследований. Приведенные данные будут способствовать развитию дальнейших подходов к сокращению энергетических затрат, удешевлению продукции и повышению эф-

фективности выращивания аквариумных растений декоративных и оксигенирующих видов для аквакультуры и аквариумистики, а также других видов водных растений, представляющих интерес в промышленном плане.

5. Выводы

1. Водные растения при непрерывном монохроматическом освещении, вне зависимости от вида и места произрастания (водная поверхность – *Pistia stratiotes*, толща воды – *Ceratophyllum demersum*, дно водоема – *Echinodorus quadricostatus*), проявляют интенсивный рост под действием синего или красного света: максимальное увеличение массы, длины корней, линейных размеров листьев за 60 суток достигает 30–35 % (для разных видов растений);

2. Отдельно используемые зеленый и желтый свет у водных растений дают или незначительный позитивный эффект роста (5–8 %), или даже приводят к торможению роста и гибели (*Pistia stratiotes*);

3. Монохроматическое освещение аквариумных систем может быть использовано с целью минимизации энергетических затрат при специализированном и промышленном выращивании водных растений для пищевых задач, а также для размножения их отдельных декоративных видов.

4. Выращивание аквариумных растений можно осуществлять при их непрерывном освещении только синим или (и) красным светом, однако, при этом следует учитывать специфику проникновения волн разной длины сквозь толщу воды и глубину водных резервуаров.

5. Дополнительное освещение аквариумных растений зеленым и желтым светом можно рекомендовать для использования в аквариумистике в небольших количествах, в основном как декоративный элемент в эстетических целях, поскольку позитивного влияния на рост растений не было выявлено.

Литература

1. Константинова, А. А. (2017). Значение растений-оксигенаторов в ландшафтном дизайне. Международный студенческий научный вестник, 5. Available at: <http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=17686>
2. Курьянов, С. А. (2015). Методика расчета энергетических характеристик излучения светодиодов для досвечивания растений. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета, 1, 185–194.
3. Дудина, П. С., Ставицкий, А. В. (2017). Влияние спектра излучения фитолампы и ее применение в растениеводстве в домашних условиях. Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения, 54–57.
4. Креславский, В. Д., Христин, М. С., Шабнова, Н. И., Любимов, В. Ю. (2012). Предоблучение отделенных листьев шпината красным светом повышает устойчивость фотосинтетического аппарата к УФ-радиации. Физиология растений, 59 (6), 723–729.
5. Петров, А. О., Тогузов, С. А., Петров, И. К., Васюков, С. В. (2016). Разработка интеллектуальной системы освещения растений. Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике, 326–328.
6. Наконечная, О. В., Гафицкая, И. В., Бурковская, Е. В. и др. (2019). Влияние интенсивности света на морфогенез *Stevia rebaudiana* в условиях *in vitro*. Физиология растений, 66 (4), 304–312.
7. Мемпель, Х., Виттман, С. (2019). Потенциал и использование искусственного освещения в растениеводстве. Светотехника, 1, 24–31.
8. Мартиросян, Ю. Ц., Диловарова, Т. А., Мартиросян, В. В., Креславский, В. Д., Кособрюхов, А. А. (2016). Действие светодиодного облучения разного спектрального состава на фотосинтетический аппарат растений картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в культуре *in vitro*. Сельскохозяйственная биология, 51 (5), 680–687. doi: <http://doi.org/10.15389/agrobiol.2016.5.680rus>
9. Белоус, О. Г., Маляровская, В. И., Коломиец, Т. М. (2012). Effect of spectral composition of light on growth of *chrysanthemum morifolium* *in vitro*. Nauka i Studia: Przemysł, 10 (55), 30–35.

10. Герц, А. И. (2009). Особенность роста и развития *Brassica rapavar. astroplants* в изменяющихся световых полях разной интенсивности и спектрального состава. Киев, 20.
11. Blaszcak, U. J., Abdel Aziz, D., Gryko, L. (2017). Influence of the spectral composition of LED lighting system on plants cultivation in a darkroom. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High Energy Physics Experiments* 2017. doi: <http://doi.org/10.1117/12.2281023>
12. Рубин, А. Б. (2005). Биофизика фотосинтеза и методы экологического мониторинга. *Технологии живых систем*, 2, 47–68.
13. Hou, H. J., Najafpour, M., Moore, G. F., Allakhverdiev, S. I. (2017). *Photosynthesis: Structures, mechanisms, and applications*. Springer International Publishing, 417. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-319-48873-8>
14. Darko, E., Heydarizadeh, P., Schoefs, B., Sabzalian, M. R. (2014). Photosynthesis under artificial light: the shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369 (1640), 20130243. doi: <http://doi.org/10.1098/rstb.2013.0243>
15. Маляровская, В. И., Коломиец, Т. М., Соколов, Р. Н., Самарина, Л. С. (2013). Влияние спектрального состава света на рост и развитие *Lilium saucasicum* в условиях культуры in vitro. *Научный журнал КубГАУ*, 94 (10), 1–11.
16. Довлатов, И. М., Юферев, Л. Ю. (2019). Анализ спектров поглощения электромагнитного излучения пигментами растений. *Инновации в сельском хозяйстве*, 2 (31), 146–153.
17. Hoecker, U. (2017). The activities of the E3 ubiquitin ligase COP1/SPA, a key repressor in light signaling. *Current Opinion in Plant Biology*, 37, 63–69. doi: <http://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.03.015>
18. Liu, B., Yang, Z., Gomez, A., Liu, B., Lin, C., Oka, Y. (2016). Signaling mechanisms of plant cryptochromes in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Plant Research*, 129 (2), 137–148. doi: <http://doi.org/10.1007/s10265-015-0782-z>
19. Войцеховская, О. В. (2019). Фитохромы и другие (фото)рецепторы информации у растений. *Физиология растений*, 66 (3), 163–177.
20. Sase, S., Ling, P. P. (1996). Quantification of lighting spectral quality effect on lettuce development using machine vision. *Acta Horticulturae*, 440, 434–439. doi: <http://doi.org/10.17660/actahortic.1996.440.76>
21. Мурзак, Н. А., Брыль, С. В., Мурзак, И. А., Капырина, В. Н., Зайцева, Т. А. (2016). Оценка эффективности светодиодного освещения с позиции экологии и энергосбережения. *Экология и строительство*, 4, 36–42.
22. Беркович, Ю. А., Буряк, А. А., Очков, О. А., Смолянина, С. О., Переведенцев, О. В., Лапач, С. Н. (2019). Некоторые пути оптимизации светодиодного освещения в светокультуре растений. *Светотехника*, S, 37–42.

Received date 15.01.2020

Accepted date 06.02.2020

Published date 28.02.2020

Шугуров Олег Олегович, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, кафедра общей биологии и водных биоресурсов, Днепровский национальный университет имени Олеся Гончара, пр. Гагарина, 72, г. Днепр, Украина, 49010
E-mail: oshugurov@gmail.com