

Баранов В.Н.², Григорьева Л.М.¹, Тогачев А.В.¹, Баранова Е.В.¹**О влиянии низкоинтенсивного лазерного излучения высокой плотности мощности на биообъекты на примере *Drimiopsis maculata***

Baranov V.N., Grigorieva L.M., Togachev A.V., Baranova E.V.

Effects of low-level laser radiation of high power density at the *Drimiopsis maculata*, as an example¹ГБОУ ВПО «Тюменский ГМУ Минздрава России», ²ГБОУ ВО «ТюмГНГУ»

Для лечения больных с помощью низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) в красном и в инфракрасном спектральном диапазонах широко применяются гибкие кварцевые световоды диаметром 500 мкм, предполагающие получение на их выходе высоких плотностей мощности излучения (ППМ), однако механизм стимулирующего действия на организм растений и животных высоких ППМ излучения до конца не ясен. Целью нашего исследования явилось изучение влияния НИЛИ высокой ППМ на биообъекты на примере высоко светочувствительного растения *Drimiopsis maculata*. Растения были поделены на 5 групп, луковицы которых дифференцированно подвергались воздействию НИЛИ с длинами волн 0,67 мкм и 0,85 мкм с экспозицией 3 и 6 мин. Одна группа была контрольной, где растения не подвергались облучению. Источники НИЛИ – два полупроводниковых лазера, излучающих на длинах волн 0,67 мкм и 0,85 мкм, с гибкими кварцевыми световодами с диаметром оптической части, соответственно, 400 мкм и 500 мкм. На выходе световодов ППМ для НИЛИ с длиной волны 0,67 мкм составляла 4 000 мВт/кв.см, а для НИЛИ с длиной волны 0,85 мкм – 4100 мВт/кв. см, что значительно превышало значения биостимулирующих параметров ППМ для клинической практики. Воздействие НИЛИ во всех опытных группах в ближайшем периоде наблюдений способствовало более выраженной, по сравнению с контролем, дефолиации растений, активации фазы цветения и развития цветоносного побега и соцветия. В отдаленном периоде наблюдений (от 1 до 4 месяцев) в большинстве опытных групп отмечено угнетение роста растений. *Ключевые слова:* биообъект, низкоинтенсивное лазерное излучение, высокая плотность мощности излучения.

In medicine, low-level laser irradiation (LLLT) in red and infrared spectral ranges is widely used for treating patients. Flexible quartz fibers with 500 μm and 400 μm diameters and with expected high density radiation power (HDRP) at the output were used for LLLT. However, mechanisms of HDRP stimulating effects at the organism of animals and plants are not clear yet. The aim of this work was to study effects of LLLT high power density at biological objects, for example, at *Drimiopsis maculata*, a plant with high photosensitivity. *Materials and methods.* The study was conducted in Laboratory of Laser Optics of the State Tyumen Oil and Gas University. Plants were divided into 5 groups the bulbs of which were exposed to LLLT with wavelength of 0.67 μm and 0.85 μm and exposure 3 and 6 minutes. One group of plants was taken as controls; they had no any irradiation. Laser light was emitted by two semiconductor lasers generating in wavelength 0.67 μm and 0.85 μm and having flexible quartz fibers with the diameter of optical part 400 μm and 500 μm, respectively. At lightguide outputs, HDRP for LLLT with wavelength 0.67 μm was 4,000 mW/sq cm, and for LLLT with wavelength 0.85 μm was 4,100 mW/sq cm, which was significantly higher than HDRP values used in clinical practice. *Results.* LLLT effects in all the experimental groups at the immediate observation period have shown more pronounced defoliation of plants, more active flowering phase and development of flowering shoots and inflorescences, as compared to the controls. In the later period (from 1 to 4 months) one could see an inhibited growth in most experimental groups. *Key words:* low-level lasers, bioobjects, high density of irradiation power

Введение

Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) с высокой плотностью потока мощности (ППМ) на биообъекты в клинической практике до сих пор до конца не изучено. Актуальность данной проблемы возрастает в современных условиях в связи с все большим внедрением в клиническую практику гибких кварцевых световодов с диаметром оптической части 500 мкм и менее. Для лечения широкого спектра заболеваний различных органов и систем широко применяется НИЛИ в красном и в инфракрасном спектральных диапазонах [1–4, 7, 10, 11], однако действие на живой организм НИЛИ с высокой ППМ при внутривенном облучении крови (ВЛОК) или при лазерной акупунктуре до конца не ясен. С эволюционной точки зрения, растения более приспособлены к восприятию световой энергии и ее утилизации [5, 6, 8, 13, 14], поэтому целью нашего исследования явилось изучение влияния НИЛИ высокой интенсивности на биообъекты на примере высокочувствительного декоративного растения *Drimiopsis maculata*. Были поставлены задачи: определить ППМ НИЛИ на выходе

из дистального торца кварцевых световодов, которые могут находиться в диапазонах ППМ, применяемых в клинической практике; изучить влияние НИЛИ на рост и развитие *Drimiopsis maculata*; выявить энергетические параметры НИЛИ, оказывающие биостимулирующее и (или) тормозящее действие на данный биообъект, в аспекте понятия возможных механизмов действия высоких ППМ излучения в клинической практике.

Материалы и методы исследования

Для исследования было выбрано однодольное, комнатное, луковичное растение Дримиопсис пятнистый (*Drimiopsis maculata*), имеющее высокую чувствительность к солнечному свету (рис. 1). Синоним названия растения – Ледебургия черешковая (*Ledebouria petiolata*). Растение имеет сердцевидно-овальные листья зеленого цвета с темно-зелеными пятнышками, длиной 10–12 см и шириной (в широкой части пластинки) 5–7 см. Черешок – длинный, до 15 см длиной. Цветки мелкие, белые. Цветет в апреле-июле. Имеет период покоя осенью-зимой, теряет листья.

Перед проведением эксперимента были проведены биометрические измерения 15 исследуемых растений: длины черешков листьев, длины и ширины листовых пластинок. Затем растения были выкопаны из общего ящика и помещены в емкости с небольшим количеством воды для облучения.

Был разработан алгоритм изучения воздействия лазерных лучей на растения. Все растения были поделены на 5 групп, по три растения в каждой. Растения группы № 1 и № 2 подвергались воздействию НИЛИ с длиной волны 0,67 мкм. Экспозиция облучения составляла 3 мин для растений группы № 1 и 6 мин – для группы № 2. Растения групп № 3 и № 4 облучались лазерами с длиной волны 0,85 мкм, с экспозицией облучения, соответственно, 3 мин (группа № 3) и 6 минут (группа № 4). Группа № 5 – контрольная. В качестве генератора НИЛИ была применена экспериментальная лазерная установка производства НИИ «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха, включающая два полупроводниковых лазера, излучающих на длинах волн 0,67 мкм и 0,85 мкм (рис. 2). Мощность лазерного излучения на выходе гибких кварцевых световодов контролировалась измерителем мощности «Мустанг-стандарт» и составляла на выходе световода для НИЛИ с длиной волны 0,67 мкм – 5,0 мВт (диаметр световода 0,4 мм) и 8 мВт – у световода диаметром 0,5 мм для НИЛИ с длиной волны 0,85 мкм.

При облучении дистальной торцевой световода подвигался вплотную к луковице растения. Площадь пятна на поверхности луковицы определялась по формуле: $r \times d^2 / 4$ [7, 12] и составляла для световода диаметром 0,4 мм – 0,001256 кв. см, а для световода диаметром

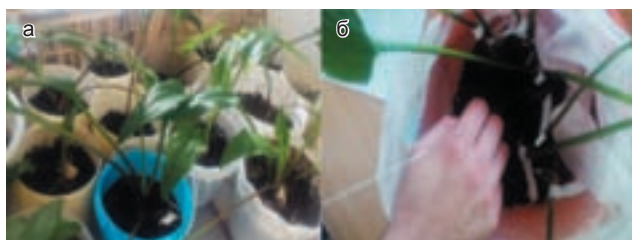


Рис. 1. Дримиопсис пятнистый (*Drimiopsis maculata*) до (а) и во время облучения (б)



Рис. 2. Источник лазерного излучения

0,5 мм – 0,001963 кв. см. ППМ НИЛИ с длиной волны 0,67 мкм составила 4000 мВт/кв. см, ППМ НИЛИ с длиной волны 0,85 мкм – 4100 мВт/кв. см. При использовании НИЛИ с длиной волны 0,67 мкм и экспозиции 3 мин доза облучения составила 0,9 Дж, а плотность дозы – 716,5 Дж/кв. см.

При экспозиции 6 мин доза облучения равнялась 1,8 Дж, а плотность дозы – 1467 Дж/кв. см. При применении НИЛИ с длиной волны 0,85 мкм с экспозицией 3 мин доза облучения равнялась 1,44 Дж, а плотность дозы – 733,6 Дж/кв. см. При экспозиции 6 мин доза облучения составляла 1,44 Дж, а плотность дозы – 1467 Дж/кв. см.

Доза облучения (D) высчитывалась в джоулях по формуле [6]: $D = P \times t$, где: P – выходная мощность лазерного излучения на выходе световода, t – время в секундах, \times – знак умножения. Доза облучения в группе № 1 равнялась 0,9 Дж и в группе № 3 – 1,44 Дж, а плотность дозы, соответственно, – 716,5 Дж/кв. см и 733,6 Дж/кв. см. В группах № 2 и № 4 доза облучения была соответственно группам: 1,8 Дж и 2,9 Дж. Плотность дозы в группе № 2 составила – 1433 Дж/кв. см, в группе № 4 – 1467 Дж/кв. см.

Эксперимент проводился в закрытом помещении при температуре 25 градусов по Цельсию, в лаборатории лазерной оптики на кафедре кибернетических систем ТюмГНГУ. Облучение лазерами проводилось в вечернее время в затемненных условиях. Затем растения помещались на содержание в темный, хорошо вентилируемый шкаф. Результаты эксперимента обрабатывались на базе кафедры фармацевтической технологии и фармакогнозии с курсом ботаники ТюмГМУ. Применялись методы вариационной статистики с вычислением средней арифметической и средней ошибки средней арифметической величины.

Луковицы растений облучали ежедневно в течение 2 недель. После последнего облучения у растений всех групп эксперимента были проведены измерения длины черешков листьев, длины и ширины листовой пластинки, затем растения были посажены на постоянное место в цветочные горшки. Такие измерения в последующем проводились каждую неделю, результаты заносились в специальный журнал. Наблюдения велись в течение четырех месяцев. У растений контрольной группы также еженедельно проводилось измерение параметров листьев.

Результаты исследования и обсуждение

Из литературы известно, что наибольшим биостимулирующим эффектом обладает НИЛИ в красной и инфракрасной области спектра с ППМ от 0,1 до 50,0 мВт/кв. см, а интенсивность облучения более 80,0 мВт/кв. см обладает тормозящим и угнетающим метаболические процессы в живых тканях [7, 12]. В медицинской практике для биостимуляции применяются экспозиции на одно поле облучения от 0,5 до 5,0 мин, а для торможения биопроцессов – от 6,0 до 10 мин [1, 7, 12]. Так, для ВЛОК в клинической практике часто применяется НИЛИ с длиной волны 0,63 мкм и 0,80 мкм и мощностью 2,0–35,0 мВт на выходе кварцевого световода, диаметром

0,5 мм и 0,25 мм, а экспозиция облучения составляет 10–30 мин [1–3, 7, 9, 10–12].

В практике рефлексотерапии для лазерной акупунктуры кварцевый световод вводится в полную иглу для глубокой лазерной стимуляции акупунктурных точек [12]. По данным литературы [7, 12], «предел насыщения» биологических тканей человека и животных для электромагнитного излучения с длиной волны 0,63 мкм составляет около 5,0 Дж/ кв. см. Дозы от 10,0 Дж/ кв. см и более оказывают ингибирующее действие, а при 30,0 Дж/ кв. см – повреждающий эффект. Считается, что для НИЛИ в инфракрасной области спектра дозы облучения из-за более низкой энергии фотона существенно увеличиваются. Данные литературы свидетельствуют, что для растительных тканей оптимальные биостимулирующие дозы облучения превышают дозы, применяемые для лечения человека и животных [5, 8, 13, 14]. Общим для растений всех исследуемых групп являлось то, что после окончания воздействия НИЛИ сразу или через некоторое время происходило отмирание листьев. В разных группах эксперимента этот процесс происходил по-разному: листья отмирали сразу все или постепенно по одному. В контрольной группе также происходило отмирание листьев, но сохранялись и старые живые листья. Гибель листьев можно объяснить не только воздействием лазерного излучения, но и пересадкой растений на новое место. Возможно, что растения испытывали стресс. Далее у всех особей начали появляться новые молодые листья и, опять же, по-разному: у одних – сразу после облучения и гибели старых первичных листьев, у других – спустя какое-то время. Следует отметить постепенное появление соцветий у растений всех групп, включая и контрольную группу. Более чувствительны и быстрее реагировали на облучение черешки листьев, меньше – длина и ширина листовой пластинки. Анализ биометрических показате-

лей растений (табл. 1) позволил выделить группу растений под № 4 как наиболее отличающуюся по ответной реакции на облучение от других опытных групп. У всех растений данной группы старые (первичные) листья отмерли еще во время облучения, новые (молодые) стали появляться сразу же после окончания облучения и начали быстро развиваться.

Сравнительная характеристика параметрических данных первичных листьев (ПЛ), отмерших после облучения, и новых молодых листьев (МЛ), появившихся на месте первых, к концу 4-го месяца наблюдений показала, что у растений группы № 4 только ширина новых листьев немного не достигла аналогичной величины первичных листьев и составила в среднем 91,8% от нее; значения же средней длины черешка и средней длины листа достигли величин первичных листьев и даже превысили их на 26,9% и 9,3% соответственно (табл. 1, рис. 3Г). Первоначальные (исходные) данные нами взяты за 100%. Что касается растений группы № 1, то у них молодые листья к концу наблюдений не достигли исходных параметров первичных листьев. Их средние параметрические данные (длина черешка, длина и ширина листа) находились в пределах от 74,3% до 85,7% от исходных значений (табл. 1, рис. 3А). У растений 2-й группы эксперимента средние параметрические данные молодых листьев также не достигли исходного уровня отмерших листьев и составили по отношению к ним: ширина листа лишь 68,4%, длина черешка – 71,2%, а длина листа – 91% (табл. 1, рис. 3Б). Средняя ширина молодых листьев растений 3-й группы достигла 72,7% от ширины первичного листа, длина черешка новых листьев достигла 94,5%, а длина листьев не только достигла, но и превысила первоначальные показатели на 5,2% (табл. 1, рис. 3В).

У растений контрольной группы новые молодые листья появились позже, примерно через 2 месяца от начала эксперимента и очень медленно развивались.

Таблица 1

Сравнительная характеристика параметрических данных первичных листьев (до облучения) и новых молодых листьев (возникших на месте погибших после облучения первичных листьев) в разных вариантах опыта

Группы растений	Время появления новых листьев	Средние исходные параметры первичного листа, в см			Средние конечные параметры молодого листа, в см			Разница между значениями в см и соответствие конечных параметров листа исходным в %		
		длина черешка	длина листа	ширина листа	длина черешка	длина листа	ширина листа	длина черешка	длина листа	ширина листа
1	Сразу после облучения и гибели первичного листа	16,5 ± 2,0	10,4 ± 0,8	4,7 ± 0,7	13,5 ± 1,1	8,6 ± 0,8	3,4 ± 0,5	-3,0 ± 0,09/ 83,8	-1,8 ± 0,07/85,7	-1,6 ± 0,06/74,3
2	Сразу и через 1 месяц после облучения и гибели первичного листа	18,8 ± 0,8	9 ± 0,9	5 ± 0,6	13,4 ± 0,5	8,2 ± 0,2	3,35 ± 0,04	-5,4 ± 0,02/71,2	-0,9 ± 0,11/91	-1,7 ± 0,03/68,4
3	Сразу и через 3 недели после облучения и гибели первичного листа	15,3 ± 2,1	8,6 ± 1,1	4,3 ± 0,6	13,3 ± 1,6	8 ± 0,3	2,8 ± 0,2	-2 ± 0,07/ 94,5	-0,6 ± 0,09/105,2	-2,2 ± 0,12/72,7
4	Сразу и через 3 недели после облучения и гибели первичного листа	15,3 ± 1,8	9,5 ± 1,3	4,5 ± 0,5	18,9 ± 1,3	10 ± 0,9	4 ± 0,3	3,7 ± 0,1/ 126,9	0,6 ± 0,08/ 109,3	-0,4 ± 0,06/91,8
Контрольная группа		14,7 ± 2,0	10,3 ± 1,3	4,4 ± 0,4	15,4 ± 1,8	10,6 ± 1,0	4,5 ± 0,3	1,3 ± 0,1/ 105,8	0,43 ± 0,07/104,8	0,1 ± 0,015 /102,5

Старые (первичные) листья также развивались медленно, их конечные параметры мало отличались от исходных и превысили их в среднем на 4,3% (табл. 1, рис. 3Д).

Следует отметить, что воздействие лазерного излучения способствовало более быстрому наступлению фенологической фазы – цветения и стимулировало рост и развитие цветоносного побега и самого соцветия. У растений всех опытных групп соцветия появились через 1–3 недели после облучения лазером; в контрольной группе соцветия появились позже, только через 2 месяца от начала эксперимента. К концу 4-го месяца наблюдений длина соцветий у растений в среднем составила: в группе № 2 – $35,7 \pm 4,1$ см, в группе № 3 – $27,3 \pm 2,9$ см, в группе № 4 – $51,4 \pm 6,2$ см, в контрольной группе – $43,1 \pm 5,4$ см, а в группе № 1 были лишь зачат-

ки соцветий (табл. 2). Максимальную длину соцветий можно отметить у растений 4-й группы эксперимента, т. е. получивших облучение инфракрасными лучами с экспозицией 6 мин.

Таблица 2
Средняя длина соцветий у растений разных групп к концу 4-го месяца наблюдений

Группы растений	Средняя длина соцветий, в см
1	зачаток соцветия
2	$35,7 \pm 4,1$
3	$27,3 \pm 2,9$
4	$51,4 \pm 6,2$
Контрольная	$43,1 \pm 5,4$

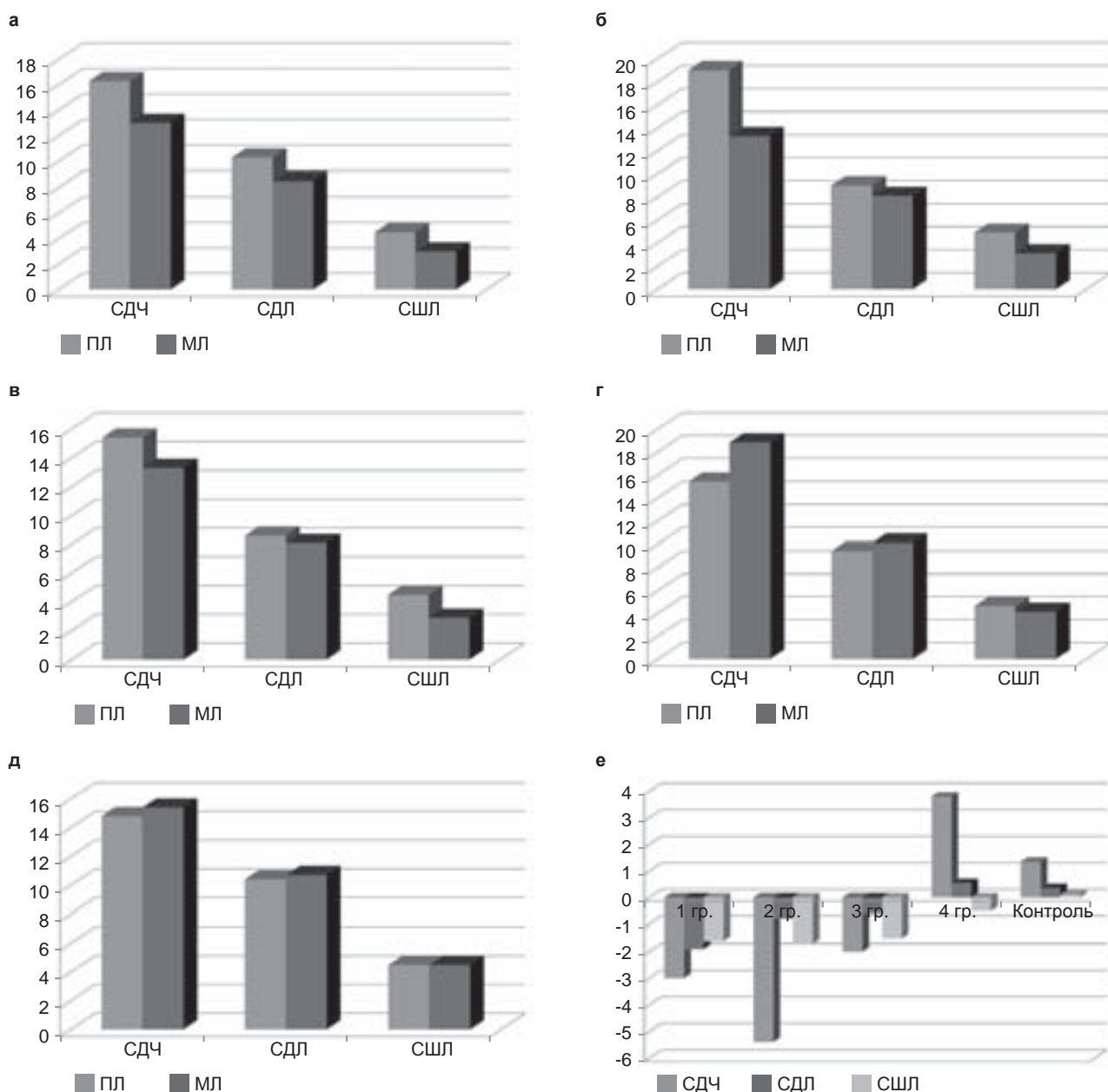


Рис. 3. Динамика изменения параметров надземной части растений в ответ на низкоинтенсивное лазерное воздействие, где: а – реакция на облучение растений группы № 1, б – группы № 2, в – группы № 3, г – группы № 4, д – контрольной группы; е – разница показателей первичного и молодого листьев; СДЧ – средняя длина черешка; СДЛ – средняя длина листа; СШЛ – средняя ширина листа. ПЛ – первичный лист, МЛ – новый лист. По оси ординат – данные в сантиметрах

Заключение

Проведенные исследования показали высокую ППМ НИЛИ на выходе лазерных световодов с диаметром оптической части 0,4 и 0,5 мм. НИЛИ с высокой ППМ оказывало выраженное биотропное действие на растение *Drimyopsis maculata* как в ближайшем (до 1 месяца), так и отдаленном периоде (от 1 до 4 месяцев) наблюдений, характер которого зависел от дозы облучения и плотности дозы облучения. В ближайшем периоде выявлено стимулирующее действие НИЛИ на появление соцветий и фазы цветения растения, что указывает на активацию процесса деления клеток, рост длины черешков листьев, длины и ширины листовой пластинки и на усиление процессов синтеза в луковицах растений.

В отдаленном периоде отмечен как стимулирующий, так и тормозящий рост растений эффект НИЛИ, зависящий от длины волны и дозы излучения. Тормозящее действие излучения на биометрические параметры растений можно объяснить как стрессовой реакцией на облучение, так и высокой ППМ, превышающей традиционные биостимулирующие параметры ППМ для диапазона длин волн 0,67 мкм и 0,85 мкм. Биостимулирующее действие в отдаленном периоде НИЛИ с длиной волны 0,85 мкм и экспозицией 6 мин, можно объяснить развитием в растениях выраженных вторичных адаптационных реакций замедленного типа. Экспозиции облучения НИЛИ, не превышающие 3 мин, с длинами волн 0,67 мкм и 0,85 мкм недостаточны для запуска такого вида саногенетических реакций в растениях.

Литература

1. Баранов В.Н. Применение внутрисосудистого лазерного облучения крови в лечении хронического воспаления матки и придатков у женщин с нарушенной репродуктивной функцией // Матер. респуб. научно-практ. конф. «Репродуктивная функция в супружеской паре». – Екатеринбург: Томас, 1994. – С. 36.

2. Гейниц А.В., Москвин С.В. Новые технологии внутривенного лазерного облучения крови: «ВЛОК + УФОК» и «ВЛОК-405». – М.–Тверь: Триада, 2010. – 96 с.
3. Гейниц А.В., Москвин С.В., Ачилов А.А. ВЛОК. Внутривенное лазерное облучение крови. – М.–Тверь: Триада, 2012. – 336с.
4. Гейниц А.В., Цыганова Г.И. Лазерные технологии в медицине: настоящее и будущее // Лазерная медицина. – 2014. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 11–12.
5. Дроздова И.С., Бондар В.В., Бухов Н.Г. и др. Влияние спектрального состава света на морфогенез и донорно-акцепторные отношения у растений редиса // Физиология растений. – 2001. – Т. 48. – Вып. 4. – С. 485–490.
6. Дударева Л.В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на процессы роста и развития в растительной ткани: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Иркутск, 2004. – 23 с.
7. Илларионов В.Е. Техника и методики процедур лазерной терапии / Справочник. – М.: Лазер маркет, 1994. – 178 с.
8. Качалин А.С., Бочков М.С., Баранов В.Н. Исследование влияния действия низкоэнергетического лазера и ультразвука на морфологию листьев *Ficus elastica* // Лазерная медицина. – 2014. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 65.
9. Карабинская Е.В., Баранов В.Н., Кошелева О.М. Применение низкоинтенсивного лазерного излучения крови (ВЛОК) в лечении различных иммунопатологических состояний // Лазерная медицина. – 2014. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 32.
10. Москвин С.В., Ачилов, А.А. Основы лазерной терапии. – М.–Тверь: Триада, 2008. – 256 с.
11. Москвин С.В. ГНЦ лазерной медицины: 25-летний опыт разработки современной лазерной медицинской аппаратуры // Матер. научно-практ. конф. с международным участием «Инновационные технологии в лазерной медицине». – М., 2011. – С. 2–6.
12. Самосюк И.З., Лисенюк В.П., Лобода М.В. Лазеротерапия и лазеропунктура в клинической и курортной практике. – К.: Здоровье, 1997. – 240 с.
13. Friedmann H., Lubart R. Towards an explanation of visible and infrared laser induced stimulation and damage of cell cultures // Laser Therapy. – 1992. – Vol. 4. – № 1. – P. 39–42.
14. Salyaev R.K., Dudareva L.V., Lankevich S.V., Sumtsova V.M. Low-power laser irradiation as a possible morphogenesis inductor in wheat cultivar callus // Annual Wheat Newsletter. – 2002. – V. 48. – P. 140–141.

Поступила в редакцию 03.02.2016 г.

Контактное лицо: Баранов Владимир Николаевич
E-mail: Varanov@tsogu.ru