

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ՄՈՒԽԱԵԼՅԱՆ ԺԱՆՆԱ ՀԱՅԿԱԶԻ

ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳՆԻՄԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ
ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՑՈՐԵՆԻ ԾԼՈՂ ՍԵՐՄԵՐԻ ՎՐԱ

Գ.00.02 – Կենսաֆիզիկա և կենսաինֆորմատիկա մասնագիտությամբ
կենսաբանական գիտությունների թեկնածուի
զիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МУХАЕЛЯН ЖАННА АЙКАЗОВНА

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН МИЛЛИМЕТРОВОГО
ДИАПАЗОНА НА ПРОРАСТАЮЩИЕ СЕМЕНА ПШЕНИЦЫ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук по специальности
03.00.02 – Биофизика и биоинформатика

ЕРЕВАН 2019

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ կենս. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Պ.Հ. Վարդևանյան

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Վ.Բ. Առաքելյան

կենս. գիտ. թեկնածու
Գ.Վ. Սահակյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Լ.Ա. Օրբելու անվան
ֆիզիոլոգիայի ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2019թ. հունիսի 25-ին ժամը 14⁰⁰-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող ՀՀ ԲՈԿ-ի Կենսաֆիզիկայի 051 մասնագիտական խորհրդի նիստում (0025, Երևան, Ալեք Սանուկյան փ. 1, ԵՊՀ, կենսաբանության ֆակուլտետ):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Երևանի պետական համալսարանի գրադարանում:

Ատենախոսության սեղմագիրն առաքված է 2019թ. մայիսի 14-ին:

051 Մասնագիտական խորհրդի գիտական
քարտուղար, կենս. գիտ. թեկնածու, դոցենտ Մ.Ա. Փարսադանյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

Научный руководитель: доктор биол. наук, профессор
П.О. Вардеванян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор
В.Б. Аракелян
кандидат биол. наук
Г.В. Саакян

Ведущая организация: Институт физиологии
им. Л.А. Орбели НАН РА

Защита диссертации состоится 25-го июня 2019г. в 14⁰⁰ часов на заседании Специализированного совета 051 по Биофизике ВАК РА при Ереванском государственном университете (0025, Ереван, ул. Алека Манукаяна 1, ЕГУ, факультет биологии).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского государственного университета.

Автореферат диссертации разослан 14-го мая 2019г.

Ученый секретарь Специализированного совета 051,
кандидат биол. наук, доцент

М.А. Парсаданян

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Электромагнитные волны, являясь физическими факторами биосферы, в значительной мере влияют на развитие и жизнедеятельность живых организмов. Несмотря на то, что доля электромагнитных волн миллиметрового диапазона (ММ ЭМВ) (1-10 мм) или крайне высоких частот (КВЧ) (30-300 ГГц) в электромагнитном излучении (ЭМИ) Вселенной, которое доходит до Земли, мала, они оказывают выраженное влияние на живые организмы, имеющие разный уровень организации эволюционного развития (Foster, 2000). Поэтому данный интервал в спектре электромагнитного излучения нашел свое широкое применение в современной клинической медицине, промышленности и сельском хозяйстве (Adair, 2002; Sheppard et al., 2008).

В природе рост растений происходит в условиях присутствия многочисленных стресс-факторов – температура, влажность, сильное электромагнитное излучение, совместное влияние токсических веществ и тяжелых металлов. Однако, в литературе малочисленны работы по совместному влиянию двух и более стрессорных факторов на рост и развитие высших растений, хотя они и могут расширить представления о механизмах защитно-адаптационных реакций, обеспечивающих устойчивость растений к действию абиотических факторов среды (Lin, 2007). Теория стрессорного воздействия ЭМИ тесно связана с процессами окисления свободных радикалов, которые играют важную роль в пластических перестройках мембран клетки в течение адаптации к изменяющимся условиям окружающей среды.

В настоящее время механизмы взаимодействия ММ ЭМВ с биологическими системами не полностью выяснены. Полагается, что первичной мишенью воздействия ЭМИ является содержащаяся в них вода или биологические мембраны, в которых образование белковых “субструктур” позволяет восстановить нарушенную деятельность организма (Wainwright, 2000). По этой причине особый интерес вызывают исследования по воздействию физических и химических факторов на свободно-радикальные процессы, протекающие в биологических системах.

Цель и задачи исследования: Целью диссертационной работы было исследование влияния ЭМИ КВЧ на рост проростков пшеницы, а также на свободно-радикальные процессы в клетках и активность антиоксидантной ферментной системы в отсутствие и присутствии ионов кадмия.

Для осуществления поставленной цели нами были приняты к решению следующие задачи:

- Изучение влияния ЭМИ КВЧ на рост, развитие и морфометрические показатели проростков пшеницы;
- Изучение влияния ЭМИ КВЧ на интенсивность перекисного окисления липидов и активность антиоксидантных ферментов в клетках проростков пшеницы на примере каталазы;
- Исследование влияния тяжелого металла кадмия на рост проростков, интенсивность перекисного окисления липидов и активность антиоксидантных ферментов каталазы и гваякол пероксидазы в клетках проростков пшеницы;

- Изучение характера воздействия ЭМИ КВЧ на рост, интенсивность перекисного окисления липидов и активность каталазы в клетках проростков пшеницы, прораставших в условиях присутствия ионов кадмия.

Научная новизна: Впервые в работе проводилось комплексное исследование процесса прорастания семян пшеницы в условиях воздействия ЭМИ КВЧ с различной продолжительностью. На основании полученных данных показано, что:

- Под влиянием ЭМИ КВЧ происходит стимулирование роста проростков пшеницы по изменению значений морфометрических показателей.
- Воздействие ЭМИ КВЧ приводит к изменению интенсивности хемилюминесценции и содержания малонового диальдегида в гомогенате проростков пшеницы, в зависимости от частоты ЭМИ и продолжительности облучения.
- Под воздействием ЭМИ КВЧ происходит изменение активности антиоксидантного фермента каталазы, способствующее уменьшению влияния внешнего физического фактора.
- Присутствие тяжелого металла кадмия в растительной среде приводит к торможению роста и развития проростков пшеницы, увеличению интенсивности свободно-радикальных процессов и подавлению активности антиоксидантных ферментов. Степень торможения роста и развития зависит от концентрации металла.
- В условиях совместного влияния ЭМИ КВЧ и кадмия наблюдается улучшение исследуемых показателей, т.е. ЭМИ КВЧ оказывает защитное влияние, компенсирует воздействие кадмия.

Основные положения, выносимые на защиту:

- Влияние ЭМИ КВЧ на интенсивность показателей роста проростков пшеницы.
- Изменение интенсивности перекисного окисления липидов в клетках проростков пшеницы в условиях воздействия ЭМИ КВЧ.
- Изменение активности каталазы в клетках проростков пшеницы в результате влияния ЭМИ КВЧ.
- Влияние ионов кадмия на рост проростков пшеницы, интенсивность свободно-радикальных процессов и активность антиоксидантных ферментов в клетках проростков в присутствии и отсутствие воздействия ЭМИ КВЧ.

Практическая ценность работы: Результаты, полученные в работе, позволяют оценить влияние исследуемого физического фактора на рост и развитие растительного организма, свободно-радикальные процессы, протекающие в мембранных структурах, а также анализировать механизм их воздействия. Полученные результаты позволяют также составить представление об активации защитных механизмов в растительном организме и о формировании ответной реакции на внешний фактор.

Полученные в работе данные могут стать основой для дальнейших исследований в данной области. Они также могут быть использованы в специальных лекционных курсах для студентов соответствующих кафедр ЕГУ, а также в научных лабораториях, занимающихся исследованиями воздействия ЭМИ КВЧ на свободно-радикальные процессы и

антиоксидантную систему в биологических системах, в частности, в растениях и других живых организмах.

Апробация работы: Материалы диссертации докладывались и обсуждались на семинарах кафедры биофизики ЕГУ и научных конференциях: Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем, Международная научная конференция, 12-ый съезд Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, Беларусь, 28-30 июня, 2016, 2018; Межд. Конф. “Биология- наука XXI века”, Пушино, Россия, 18-22 апреля, 2016; 2nd International Conference “Smart Bio”, Kaunas, Lithuania, 03-05 May, 2018; VIII Международный конгресс “Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине”, Санкт-Петербург, Россия, 10-14 сентября, 2018.

Публикации: По теме диссертации опубликовано 15 научных работ.

Структура и объем диссертации: Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, выводов и списка литературы, насчитывающего 150 наименований. Диссертация изложена на 123 страницах, включает 26 рисунков и 11 таблицы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении кратко описывается структура диссертационной работы, обсуждаются ее цель, актуальность и научное значение.

Первая глава посвящена обсуждению имеющиеся в научной литературе данных о влиянии радиочастотных электромагнитных волн на биологические системы, принятых в настоящее время теорий относительно механизмов воздействия ЭМИ миллиметрового диапазона. Приводятся общие сведения о росте и развитии растительных организмов, а также об особенностях свободно-радикальных процессов и активации антиоксидантной системы в клетках проростков пшеницы. Обсуждаются также известные в литературе данные об изменениях, индуцированных в проростках влиянием кадмия.

Вторая глава посвящена материалам и методам исследования.

Использованные материалы. В работе использованы семена и проростки пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Безостая 1. При приготовлении гомогенатов использовали растворы Трис-НСl (рН=7.4, содержит 0.175 М КСl, 1 мМ этилендиамин тетраацетат (ЭДТА), 0.5% тритон X-100) с 25 и 50 мМ концентрациями как буфер. Для стерилизации проростков пшеницы использовали 0.03% раствор перманганата калия (KMnO₄). Перекисное окисление липидов оценивали по количеству малонового диальдегида (МДА) и использовали 0.8% раствор 2-тиобарбитурата и 0.6 N раствор НСl. При определении активности фермента каталазы использовали 0.03% раствор перекиси водорода и 4% раствор молибдата аммония. Часть исследуемых образцов обрабатывали растворами CdCl₂ со следующими концентрациями: 25, 50 и 100 мкМ.

Использованные приборы. Оптическую плотность образцов измеряли спектрофотометрически. В качестве источника облучения ЭМИ КВЧ применялся генератор Г4-141 (СССР), с рабочим диапазоном частот 37.50-53.57 ГГц и плотностью потока мощности 0.6 мВт/см². Стабильность частоты сигнала составляла ±0.05%, и отклонение частоты выходного сигнала в непрерывном режиме генерации не превышало 6МГц. Семена и проростки пшеницы, прораставшие в чашках Петри облучались частотами 41.8, 42.2, 50.3

и 51.8 ГГц. Облучение проводилось как однократно (продолжительностями от 15 мин до 80 мин), так и многократно, начиная с определенного момента прорастания и каждый день по 20 мин.

Для исследования влияния кадмия на прорастающие семена пшеницы в чашках Петри однократно добавляли раствор CdCl_2 с концентрациями 25, 50 и 100 мкМ.

Концентрация малонового диальдегида и активность ферментов каталазы и пероксидазы определяются в корнях и проростках растений контрольных и облученных образцов. Количество белка в исследуемом образце определяли по методу Лоури, когда стандартом служил бычий сывороточный альбумин. Количество белка рассчитывали по графику, отражающему зависимость оптической плотности стандартных растворов от концентрации белка в них. Количество белка отражено в мг/г в ткани.

Интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) определяли по изменению количества одного из вторичных продуктов ПОЛ – малонового диальдегида (МДА) (Costa et al., 2002). Концентрацию МДА рассчитывали по формуле $C=D/\varepsilon \cdot l$, где D оптическая плотность исследуемого образца, ε – коэффициент экстинкции (равен $1.56 \cdot 10^5 \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ при длине волны 532 нм), l – оптический путь светового луча, C – концентрация МДА, M .

Активность каталазы в проростках пшеницы определяли по методу Королюка. Рассчитывая по формуле: $A=\Delta D \cdot K/\varepsilon \cdot t \cdot c$, где A активность каталазы, мкМ, ΔD изменение оптической плотности, K – коэффициент разбавления, ε – коэффициент экстинкции перекиси водорода, который при 410 нм равен $22.2 \cdot 10^3 \text{ мкМ}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$, t – продолжительность инкубации, мин, c – количество белка в образце, мг/мл, активность фермента выражается в единицах, по концентрации (мМ) субстрата, расщепленного в течение 1 мин инкубации к 1 мг белка образца.

Анализ хемилюминесценции основан на регистрации сверхслабого светоиспускания, которое образуется в процессе реакций, протекающих свободно-радикальным механизмом. Регистрация спонтанной хемилюминесценции образца проводится посредством высокочувствительного квантометрического устройства, которое работает на основе фотоумножителя ФЭУ-140 (спектральный интервал чувствительности составляет 300-700 нм). Надежный анализ хемилюминесценции осуществляется посредством компьютерной системы автоматической регистрации и математической обработки полученных данных, что реализуется мультифункциональным блоком USB 6008 и в программной среде LabVIEW. Измерение квантометрического устройства осуществляется по эталонному источнику с известной интенсивностью света СФХМ-1 N46 и световым потоком $8.43 \cdot 10^5$ квант/сек·4л.

В кювету добавляется 3 мл образца (37^0C). Регистрация излучения реализуется после 1-2 сек. Фон шума устройства определяется непосредственно до и после каждого измерения. Хемилюминесценцию образцов определяли в течение 120 сек. Интенсивность хемилюминесценции измеряется по условным единицам.

Во всех проведенных экспериментах величина статистической ошибки не превышала 5%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние ЭМИ КВЧ на всхожесть проростков пшеницы. Проведены исследования по определению потенциала прорастания, всхожести и индекса прорастания семян пшеницы под воздействием ММ ЭМВ. Исследования проводились начиная с третьего дня прорастания после набухания. Прорастание стандартных семян определялось, когда длина проростка доходила до половины длины семени. Индекс прорастания рассчитывался по формуле $G_t = \Sigma(G_t/D_t)$, где G_t количество проростков в t -ый день, D_t – дни прорастания. Потенциал прорастания (%) равен соотношению количества проросших на третий день семян к общему количеству исследуемых семян. Скорость прорастания равна соотношению количества проросших 7-дневных семян на общее количество исследуемых семян. Полученные данные указывают на то, что облучение прорастающих семян пшеницы ЭМИ с частотой 51,8 ГГц может привести к ускорению прорастания последних и стимулировать рост проростков. Так, потенциал прорастания у необлученных проростков составляет 72.6%, при облучении увеличивается до 78.1%, скорость прорастания от 82.7% доходит до 89.3%.

Влияние ЭМИ КВЧ на некоторые морфометрические показатели роста проростков пшеницы. В первой серии экспериментов исследовано однократное влияние ЭМИ КВЧ частотами 41.8, 42.2, 50.3 и 51.8 ГГц на изменение массы проростков, развивающихся из замоченных на 12 часов семян пшеницы. На рис. 1 представлены изменения массы побегов проростков пшеницы, подвергших воздействию ЭМИ КВЧ.

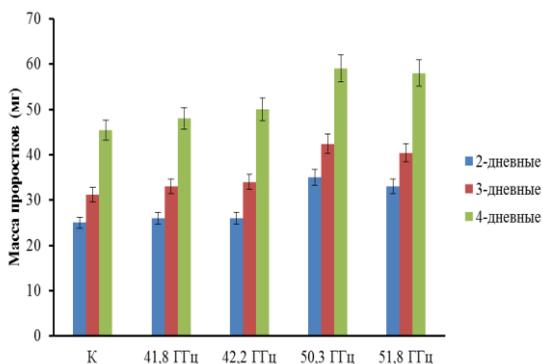


Рис. 1. Изменения массы побегов проростков пшеницы при облучении прорастающих семян ЭМИ КВЧ с различными частотами и продолжительностью 30 мин.

Как показывают данные на рис. 1, при облучении ЭМИ с частотами 41.8 и 42.2 ГГц достоверного изменения массы проростков не наблюдается. В случаях же облучения частотами, резонансными для воды – 50.3 и 51.8 ГГц, масса побегов на 2-ой день прорастания увеличивается на 40% и 32% соответственно по сравнению с контролем. В последующие дни также сохраняется тенденция роста массы побегов. Из этих данных следует, что на изменение массы побегов проростков более стимулирующее влияние оказывает облучение частотами

50.3 и 51.8 ГГц, при этом, в случае 50.3 ГГц ответная реакция биологической системы формируется быстрее и более выражена, чем при 51.8 ГГц.

Во второй серии экспериментов прорастающие семена пшеницы многократно подверглись влиянию ММ ЭМВ по 20 мин ежедневно в течение 5-и дней, начиная с 3-дневного возраста до 7-и дней. На рис. 2 приведены значения изменений массы побегов проростков пшеницы при многократном облучении по 20 мин в течение 5-и дней.

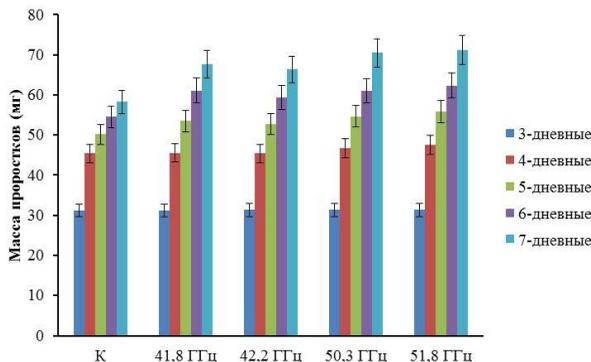


Рис. 2. Динамика изменения массы (мг) побегов проростков пшеницы, облученных многократно ЭМИ КВЧ с низкой интенсивностью и различными частотами в процессе роста.

Из полученных данных следует, что при первом облучении продолжительностью 20 мин, изменение массы побегов практически не наблюдается. После второго облучения (суммарная продолжительность облучения – 40 мин), также достоверного изменения не регистрируется. При суммарной экспозиции 60 мин наблюдается увеличение скорости роста по сравнению с контролем во всех вариантах эксперимента. Изменение массы побегов проростков, подвергнутых 3-х кратному облучению ЭМИ с частотой 41.8 ГГц больше соответствующего показателя роста контрольных проростков на 6.2%. При последующих облучениях скорость роста увеличивается и у проростков, подвергнутых 5-кратному облучению, она выше контрольного значения уже на 16.1%. Та же закономерность обнаруживается при облучениях ЭМИ с частотами 42.2 ГГц, 50.3 ГГц и 51.8 ГГц: величины индуцированных облучением изменений массы проростков, подвергнутых 3-х и 5-и кратному облучению равны соответственно 5% – 14%, 9.5 – 21%, 11.6% – 22.1%. Полученные данные свидетельствуют о том, что при обработке проростков ЭМИ с разными частотами наблюдается одинаковая закономерность: с каждым последующим облучением скорость роста побегов увеличивается, о чем судим по изменению массы побегов.

Исследовано также влияние многократного облучения на длину проростков пшеницы в процессе роста. На рис. 3 приведены значения длин проростков при многократном облучении ММ ЭМВ разными частотами. Как видно из рис. 3, в данном случае также наблюдается та же закономерность: наибольший эффект регистрируется при облучении ЭМИ с частотами 50.3 и 51.8 ГГц. При облучении ЭМИ с частотой 41.8 ГГц, суммарной

продолжительностью 60 мин длина проростков больше контроля на 4%, а с увеличением до 100 мин этот рост опережает контрольные значения на 14%.

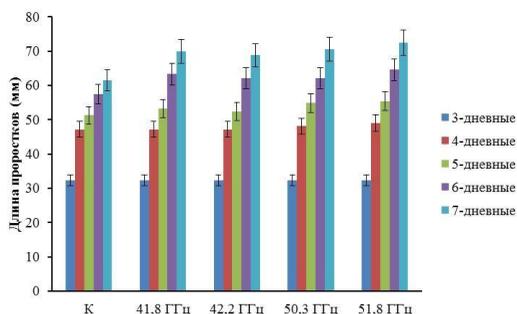


Рис. 3. Динамика изменения длины (мм) проростков пшеницы, облученных многократно ЭМИ КВЧ низкой интенсивности и различных частот в процессе роста.

При облучении частотой 42.2 ГГц, увеличение составляет от 3% до 12% соответственно. При облучении частотами, резонансными для воды – 50.3 и 51.8 ГГц увеличения составляют от 7% до 15% и от 8% до 18% соответственно. Этот эффект зависит от частоты и продолжительности ЭМИ.

Исследованы также другие морфометрические параметры – площадь листьев, длина и масса корней проростков. Данные показывают, что наблюдается увеличение значений морфометрических параметров, при этом, эффект более выражен при облучении частотами, резонансными для воды. По всей вероятности, при облучении частотами 50.3 и 51.8 ГГц изменяется структура кластеров воды, что приводит к изменению количества свободных молекул воды и протонов в растительных клетках, что способствует проникновению большого количества воды в клетки, и за счет увеличения тургорного давления увеличиваются размеры клеток.

Влияние ЭМИ КВЧ на процессы перекисного окисления в клетках проростков пшеницы. Согласно одной из гипотез влияния ММ ЭМВ на биологические системы, электромагнитные волны миллиметрового диапазона индуцируют окислительный стресс, который приводит к возрастанию концентрации и активности активных форм кислорода, в том числе супероксидного радикала (O_2^*), синглетного кислорода (1O_2), перекиси водорода (H_2O_2) и гидроксильных радикалов (OH^*). Взаимодействие последних с ненасыщенными жирными кислотами мембран приводит к образованию перекисных радикалов липидов RO_2 , в результате образуется рекомбинант с нестабильным тетроксидом, что сопровождается эмиссией квантов хемоллюминесцентного света. Показано, что хемиллюминесценция (ХЛ) биологических систем возникает в результате свободно-радикальных процессов и перекисного окисления липидов (ПОЛ) в липид-содержащих структурах (Juravlev, 2011; Vladimirov & Proskurnina, 2009). Исследована интенсивность спонтанной ХЛ гомогенатов корней и побегов облученных проростков пшеницы ЭМИ с частотами 42.2, 50.3 и 51.8 ГГц. Показано, что облучение ЭМИ с частотой 42.2 ГГц не индуцирует достоверного изменения спонтанной ХЛ в гомогенатах побегов и корней проростков пшеницы, в то

время как облучение ЭМИ с частотой 50.3 ГГц приводит к увеличению световой суммы на 38.4% и 30.5% в побегах и корнях проростков соответственно. Следует отметить, что облучение ЭМИ с частотой 51.8 ГГц производит наибольший эффект на свободно-радикальные процессы – соответственно увеличивая световые суммы в побегах и корнях на 42% и 31%. Как видно из рис. 4, миллиметровые электромагнитные волны индуцируют оксидативный стресс не только в побегах проростков, но и в корнях и степень изменения светосуммы спонтанной ХЛ зависит от частоты ЭМИ.

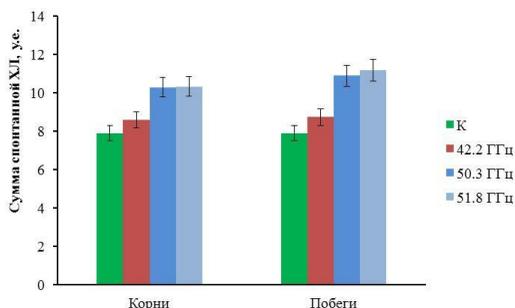


Рис. 4. Сумма спонтанной ХЛ 3-х дневных проростков пшеницы, облученных различными частотами ММ диапазона.

В побегах необлученных и многократно облученных проростков пшеницы зависимость количества малонового диальдегида (МДА) от продолжительности облучения представлена на рис. 5 (А). Исследуемый параметр значительно меняется по сравнению с контролем, особенно при облучении частотой 51.8 ГГц. Однако, дальнейшее облучение приводит к некоторому уменьшению исследуемого параметра: после 80 мин и 100 мин облучения значения количества МДА выше, чем в контроле на 40% и 36% соответственно. Таким образом, можно заключить, что с увеличением продолжительности облучения ЭМИ интенсивность процессов перекисного окисления липидов возрастает.

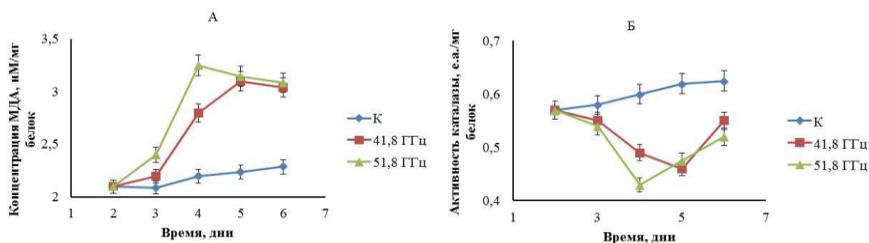


Рис. 5. Динамика изменения количества МДА (А) и активности каталазы (Б) в клетках побегов проростков пшеницы, облученных ЭМИ ММ-диапазона, в процессе роста.

Показано, что облучение прорастающих проростков в процессе роста приводит также к изменению активности фермента каталазы и величина

изменения зависит от частоты и продолжительности излучения ЭМВ (рис. 5Б). Из рис. 5Б видно, что активность каталазы уменьшается при облучении ЭМИ с частотой 41.8 ГГц и суммарной продолжительности 40 мин и 60 мин на 5% и 17% соответственно по сравнению с контролем. При увеличении суммарной продолжительности облучения до 80 мин в 5-и дневных побегах активность каталазы уменьшается на 22.4% по сравнению с контрольным значением. Дальнейшее увеличение продолжительности облучения до 100 мин индуцирует значительное увеличение активности каталазы более, чем в 1.22 раза по сравнению с результатом, полученном при экспозиции 80 мин. Из рис. 5Б видно, что похожая закономерность наблюдается и при частоте 51.8 ГГц, более того, величина ответа в данном случае больше. При экспозициях 40 и 60 мин активность каталазы уменьшается, при 80 и 100 мин – увеличивается.

Исследованы изменения интенсивности ПОЛ в клетках проростков при однократном облучении ЭМВ с различными частотами и разной продолжительностью (рисунок не приведен). Полученные результаты свидетельствуют об увеличении активности ПОЛ, что выражается увеличением количества МДА. При облучении ЭМИ с частотами 41.8 ГГц и 42.2 ГГц концентрация МДА проявляет тенденцию возрастания в процессе роста и тенденция сохраняется при увеличении продолжительности облучения. Наибольший эффект наблюдается в случаях облучения ЭМИ с частотами 50.3 и 51.8 ГГц.

Исследованы также изменения активности каталазы в зависимости от частоты и продолжительности ЭМВ. В данном случае при облучении ЭМИ с частотами 41.8 и 42.2 ГГц в 3-х и 4-х дневных побегах наблюдается уменьшение активности каталазы и это зависит от продолжительности воздействия. Та же закономерность наблюдается и при облучении ЭМИ с частотами 50.3 и 51.8 ГГц. На основе полученных данных, можно заключить, что активность каталазы уменьшается при облучении продолжительностью 20 и 60 мин во все дни прорастания. Кроме того, при продолжительности облучения ЭМВ 80 мин, активность фермента растет в побегах пшеницы одинакового возраста. Это, в свою очередь, приводит к эффективному удалению активных форм кислорода. Результаты свидетельствуют о стимулирующем воздействии ЭМИ на рост пшеницы и роли антиоксидантной защитной системы в организме на внешнее физическое поле. Сравнивая данные, полученные о количестве МДА и активности каталазы в побегах облученных растений, можно отметить, что для каждой частоты ЭМИ с увеличением продолжительности облучения относительное возрастание количества МДА коррелирует с уменьшением активности каталазы в побегах растений того же возраста. При продолжительности облучения 80 мин, резкое увеличение активности каталазы достаточно хорошо коррелирует с уменьшением количества МДА. Следовательно, в растениях, подвергнувшихся внешнему физическому воздействию, каталаза активируется и защищает клетки растения от разрушительных эффектов активных форм кислорода, играя важную роль в антиоксидантной клеточной защитной системе.

Сравнение концентраций МДА в корнях и побегах проростков пшеницы, (рис. 6) показало, что в побегах и корнях 4-х дневных контрольных проростков количество МДА почти одинаково и равно 0.24 ± 0.04 нМ/мг белка и 0.20 ± 0.03 нМ/мг белка соответственно.

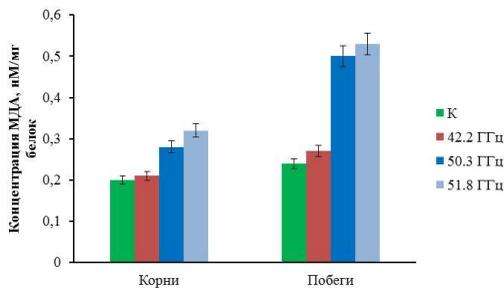


Рис. 6. Концентрация МДА (нМ/мг белок) в корнях и побегах 4-х дневных проростков пшеницы в зависимости от частоты ЭМИ.

При облучении проростков ЭМИ с частотой 42.2 ГГц в течение 1 часа концентрация МДА в корнях почти не меняется, однако в побегах она превышает контрольное значение на 12%. При облучении ЭМИ с частотой 50.3 ГГц количество МДА в корнях облученных проростков достоверно растет в 1.40 раза, а в побегах – 2.08 раза по сравнению с контролем. Облучение ЭМИ с частотой 51.8 ГГц производит наибольшее влияние на формирование МДА. Таким образом, в корнях облученного растения концентрация МДА равна 0.32 ± 0.06 нМ/мг белка и превосходит концентрацию МДА в корнях контрольного растения в 1.6 раза, в побегах она равна 0.52 ± 0.08 нМ/мг белка и превосходит значение этого показателя в контрольных побегах (0.24 ± 0.04) в 2.2 раза.

Таким образом, на основе полученных данных, можно предположить, что ЭМИ КВЧ влияет на окисление липидов в клеточных мембранах и приводит к возрастанию интенсивности свободно-радикальных процессов. Это значит, что биологическая система крайне чувствительна к внешнему воздействию ЭМИ, в частности, к ЭМИ с частотой 50.3 и 51.8 ГГц, которые соответствуют собственным частотам колебаний молекул воды, т.е. при облучении имеет место резонанс.

Влияние кадмия на рост проростков пшеницы, интенсивность ПОЛ и активность антиоксидантной системы. Кадмий (Cd) считается одним из сильно токсичных металлов, который присутствует в пахотных землях в результате промышленных процессов и фермерской практики. Cd известен своей фитотоксичностью, что приводит ко многим морфологическим, физиологическим и биохимическим изменениям в живых организмах. Быстро поглощаясь корнями и конкурируя с двухвалентными ионами, кадмий подавляет рост и развитие растений и влияет на биомассу. Тяжелые металлы нарушают рост растений различными способами. Один из этих способов связан с производством активных форм кислорода и свободных радикалов. Данные, полученные нами, показывают, что обработка кадмием приводит к уменьшению массы побегов, по сравнению с контролем, однако в процессе роста растения (во времени) тенденция возрастания сохраняется. Показано также, что влияние кадмия приводит к замедлению роста длины проростков пшеницы по сравнению с контролем. В условиях наличия тяжелых металлов наблюдается также изменение количества МДА и активности каталазы и гваякол пероксидазы (ГПО). На рис. 7 показано, что количество МДА в

растениях, не подвергшихся стрессу, изменяется в разные дни прорастания. Так, почти то же самое количество МДА регистрируется в 3-х и 6-и дневных побегах. В 12-и дневных побегах количество МДА увеличивается на 14% по сравнению с тем же параметром 3-х дневных растений. Полученные данные показывают, что Cd-обработка приводит к изменению процесса перекисного окисления липидов, о чем свидетельствуют данные на рис. 7.

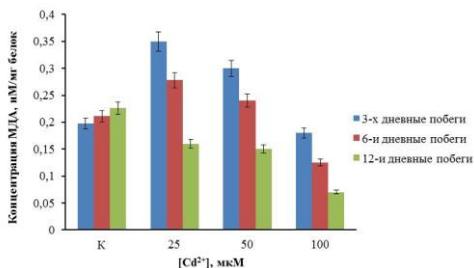


Рис. 7. Влияние Cd-обработки на количество МДА в побегах проростков пшеницы.

Так, в условиях наличия в среде роста Cd²⁺ в растительной среде в концентрациях 25 и 50 мкМ в 3-х дневных побегах растения, количество МДА возрастает соответственно в 1.75 и 1.5 раза по сравнению с контролем. В то же время в побегах 3-х дневных растений, обработанных кадмием в концентрации 100 мкМ, увеличение количества МДА составляет 9% по сравнению с контролем. Как видно из рис. 7, в 6-и дневных побегах, обработанных кадмием, наблюдается высокий уровень МДА, однако он ниже, чем в 3-х дневных побегах. Так, при наличии в среде роста 25 мкМ и 50 мкМ CdCl₂ количество МДА в побегах растет в 1.31 и 1.13 раз соответственно по сравнению с контролем. В растениях одинакового возраста, которые выращивались в присутствии 100 мкМ CdCl₂, количество МДА составляло 0.13±0.021 нМ/мг белок, что ниже, чем в соответствующем контроле.

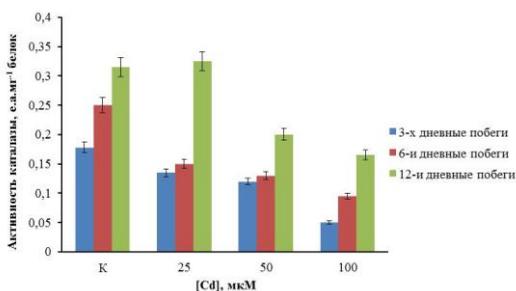


Рис. 8. Влияние кадмия на активность каталазы в побегах пшеницы.

Сравнивая уровень МДА и активность каталазы в побегах растений, обработанных кадмием, можно заметить, что в ранних стадиях роста, в побегах высокий уровень МДА коррелирует с подавлением активности каталазы в них. С возрастом (6-12 дней), наоборот, активность каталазы растет и наблюдается уменьшение количества МДА. Данные, полученные нами,

хорошо согласуются с таковыми в литературе. Показано, что в растениях, не обработанных кадмием, активность каталазы растет с возрастом и уже в 12-и дневных побегах она в 1.72 раз больше, чем в 3-х дневных побегах (рис. 8). При обработке проростков раствором, содержащем 25 мкМ CdCl_2 в побегах 3-х дневных проростков пшеницы активность каталазы уменьшается на 28% по сравнению с контролем. Увеличение концентрации кадмия до 100 мкМ приводит к уменьшению активности фермента более, чем в 3 раза по сравнению с контрольными растениями одного возраста. С увеличением концентрации кадмия активность фермента уменьшается во всех образцах одного возраста. В то же время активность каталазы проявляет небольшую тенденцию возрастания для каждой концентрации кадмия в течение роста побегов.

Исследования показывают также, что при всех концентрациях кадмия активность ГПО в побегах пшеницы увеличивается. Это еще раз подтверждает факт, что в растениях, подвергнувшихся Cd-стрессу, каталаза и гваякол пероксидаза действуют как защитный механизм, активация которого направлена на выведение организма из стресса.

Совместное влияние ЭМИ КВЧ и ионов кадмия на рост проростков пшеницы, интенсивность ПОЛ и активность каталазы. Исследовано совместное влияние CdCl_2 концентрацией 100 мкМ и ЭМИ КВЧ (50.3 ГГц) на рост проростков, количество МДА и активность каталазы в проростках пшеницы. Показано, что обработка кадмием приводит к значительным изменениям длины побегов, в частности у 6-и и 9-и дневных проростков. Небольшой рост длины проростков наблюдается под влиянием ЭМИ КВЧ. Измерена также масса проростков пшеницы при сочетанном воздействии Cd^{2+} и ЭМИ. В этом случае также наблюдается улучшающее воздействие ЭМИ. Высокая концентрация CdCl_2 (100 мкМ) подавляет рост проростков. Полученные результаты показывают, что морфометрические параметры (длина и масса) проростков пшеницы, обработанных раствором CdCl_2 с концентрацией 100 мкМ, в сочетании с облучением ЭМИ КВЧ значительно улучшаются, но не достигают значений, наблюдаемых в контроле.

Исследованы также изменения количества МДА и активности каталазы в проростках пшеницы при сочетанном воздействии Cd-индуцированного стресса и облучения ЭМИ КВЧ (рис. 9). Как видно из рис. 9, при обработке кадмием с концентрацией 100 мкМ в клетках 3-х дневных проростков концентрация МДА уменьшается на 10% по сравнению с контролем, в 6-и дневных проростках – на 47.9%, а в 9-и дневных – на 75%. При облучении ЭМИ с частотой 50.3 ГГц в течение 1 час, концентрация МДА увеличивается соответственно на 55%, 54.2% и 35.7%. При сочетанном воздействии 100 мкМ Cd^{2+} и ЭМИ с частотой 50.3 ГГц, наблюдается следующая картина: в клетках 3-х дневных проростков по сравнению с контролем наблюдается увеличение концентрации МДА на 20%, в 6-и дневных проростках – уменьшение МДА на 16.7% по сравнению с контролем, однако, концентрация МДА выше, чем в проростках, обработанных кадмием. В клетках 9-и дневных проростков уменьшение концентрации МДА составляет 57.1%, и в этом случае, концентрация МДА выше, чем в обработанных только раствором кадмия проростках. Из полученных данных следует, что при сочетанном воздействии физического и химического факторов наличие физического фактора способствует преодолению металл-индуцированного стрессового состояния.

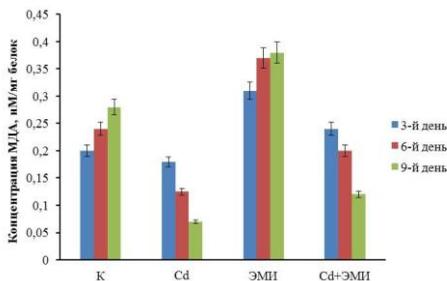


Рис. 9. Изменение концентрации МДА в клетках проростков пшеницы в течение роста при отдельной и совместной обработке раствором CdCl_2 (100 мкМ) и ЭМИ с частотой 50.3 ГГц.

На рис. 10 приведено изменение активности каталазы в клетках проростков пшеницы при отдельном и совместном воздействиях кадмия и ЭМИ КВЧ. Как видно из рис. 10, при отдельном влиянии Cd^{2+} и ЭМИ КВЧ в клетках проростков происходит подавление активности каталазы. При их совместном воздействии также наблюдается снижение активности фермента. Однако, следует отметить, что в этом случае присутствует некоторая компенсация последствий влияния ионов кадмия.

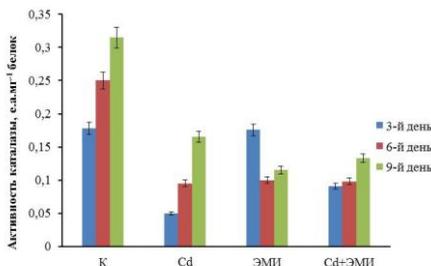


Рис. 10. Изменение активности каталазы в клетках проростков пшеницы в течение роста при отдельной и сочетанной обработке CdCl_2 (100 мкМ) и ЭМИ (50.3 ГГц).

Так, в клетках 3-х дневных проростков, которые обрабатывались раствором CdCl_2 с концентрацией 100 мкМ, наблюдается уменьшение активности каталазы на 71.9% по сравнению с контролем, а в клетках 6-и дневных проростков на 62% и 9-и дневных – на 47.6%. При воздействии ЭМИ частотой 50.3 ГГц в клетках 3-х дневных проростков активность каталазы уменьшается на 1.12% по сравнению с контролем, в клетках 6-и дневных проростков – на 60% и в клетках 9-и дневных проростков – на 63.5%. При совместном воздействии кадмия и ЭМИ в клетках 3-х дневных проростков уменьшение активности каталазы по сравнению с контролем составляло 48.9%, в клетках 6-и дневных проростков – 60.8% и в клетках 9-и дневных проростков – 57.8%.

Таким образом, кадмий индуцирует нарушения обменных процессов, развитие стресса. Миллиметровые волны низкой интенсивности в

значительной степени компенсируют индуцированные кадмием нарушения, способствуют нормализации обменных процессов в клетках, подвергнутых обработке проростков.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследовано влияние ЭМИ КВЧ на интенсивность роста проростков пшеницы. Как показывают данные, представленные в работе, под воздействием внешнего физического фактора наблюдается увеличение массы и длины проростков по сравнению с необлученными проростками. При этом, величина изменения зависит от частоты облучения: при резонансных для воды частотах увеличение параметров больше, чем при нерезонансных частотах.

Показано, что под влиянием миллиметровых волн в проростках повышается интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ), о чем можно судить по количеству продукта этих процессов – малонового диальдегида. Об увеличении интенсивности процессов ПОЛ свидетельствует также значительное повышение светосуммы хемилюминесценции в гомогенате проростков, при этом, значения светосуммы в корнях и побегах различаются незначительно. Показано, что в клетках облученного растения количество МДА увеличивается и выявлена зависимость величины изменения от частоты облучения. В ответ на активацию свободно-радикальных процессов наблюдается подавление активности каталазы, однако с увеличением продолжительности облучения, по-видимому, в организме запускаются процессы, направленные против развития изменений, индуцированных воздействием внешнего фактора и активность каталазы растет. Этот рост особенно выражен при 80 мин суммарной продолжительности облучения, что согласуется с наблюдаемым уменьшением количества МДА. Этот факт свидетельствует о том, что в растениях, подвергнувшихся влиянию ЭМИ КВЧ, каталаза, как и другие антиоксидантные ферменты, например, гваякол пероксидаза, активируется для подавления интенсивности свободно-радикальных процессов.

Проведены также исследования влияния тяжелого металла – кадмия на интенсивность ПОЛ в клетках проростков пшеницы, а также на их рост и развитие. Показано, что во время кадмиевого стресса рост замедляется, величина изменений массы и длины проростков пшеницы меньше изменений указанных параметров для контрольных проростков, при этом, чем выше концентрация кадмия, тем больше отставание в процессе роста. При обработке кадмием в клетках проростков пшеницы наблюдается изменение количества МДА. Активность каталазы уменьшается при Cd-стрессе, однако характер изменений процесса роста сохраняется и наблюдается та же динамика изменений, что и в контрольных проростках. В отличие от каталазы, активность которой падает при кадмиевом стрессе, активность гваякол пероксидазы, наоборот, растет.

Результаты исследования сочетанного воздействия химического (CdCl_2) и физического (ЭМИ КВЧ) факторов показали, что в случае сочетания этих внешних факторов нарушения метаболизма и роста проростков выражены слабее, чем таковые, индуцированные лишь химическим фактором. Полученные данные дают основание предположить, что облучение ЭМИ КВЧ ослабляет действие CdCl_2 на растительные организмы.

ВЫВОДЫ

1. Под влиянием электромагнитных волн миллиметрового диапазона наблюдается стимулирование всхожести семян и роста проростков пшеницы. Рост массы и длины проростка наблюдается при облучении ЭМИ всех примененных частот. Максимальное стимулирующее воздействие наблюдается в случае облучения ЭМИ с частотами, резонансными для воды, что позволяет заключить, что первичным звеном воздействия ЭМИ КВЧ на организм является вода.
2. При облучении ЭМИ КВЧ в проростках пшеницы наблюдается изменение интенсивности свободно-радикальных процессов, о чем свидетельствует изменение интенсивности спонтанной хемилюминесценции в клетках проростков пшеницы. Изменяется светосумма хемилюминесценции в клетках, при этом выраженных различий в изменении светосуммы хемилюминесценции в клетках побегов и корней не наблюдается. В этом случае также наблюдается зависимость от частоты воздействующих ЭМ волн. Изменение более ярко выражено в случае влияния ЭМ волн с резонансными для воды частотами.
3. Облучение ЭМИ КВЧ индуцирует изменение интенсивности свободно-радикальных процессов, происходящих в побегах и корнях проростков пшеницы, что определяется по изменению количества малонового диальдегида. Величина изменения зависит от продолжительности облучения и частоты ЭМИ. Наблюдаемое изменение активности антиоксидантных ферментов в клетках облученных проростков, по-видимому, направлена на выведение организма из стрессового состояния, индуцированного внешним физическим фактором.
4. При воздействии кадмия в проростках пшеницы наблюдается уменьшение интенсивности роста биомассы, разнонаправленные изменения количества МДА и активностей каталазы и ГПО в зависимости от концентрации Cd^{2+} . Активность каталазы в клетках проростков, обработанных Cd^{2+} подавляется, однако, тенденция повышения активности фермента в процессе роста, наблюдаемая у контрольных проростков сохраняется. Активность ГПО в проростках, обработанных Cd^{2+} повышается и остается в процессе роста выше контрольных значений. Наблюдаемые в обработанных Cd^{2+} проростках изменения свидетельствуют о токсичном действии данного тяжелого металла на метаболизм клеток развивающегося организма.
5. При совместном воздействии кадмия и ЭМИ КВЧ, выявлен компенсирующий эффект ЭМИ КВЧ, нивелирующий влияние кадмия на интенсивность метаболизма и рост проростков растений.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Poghosyan G.H., Mukhaelyan Zh.H., Vardevanyan P.H. Influence of Cadmium Ions on Growth and Antioxidant System Activity of Wheat (*Triticum Aestivum* L.) Seedlings. International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences, 2014, 2(10), p. 371-378.
2. Mukhaelyan Zh.H., Poghosyan G.H., Vardevanyan P.O. Effect of cadmium ions on lipid peroxidation and activities of antioxidant enzymes of growing wheat (*Triticum aestivum* L.) shoots. Biol. J. of Armenia, 2015, v. 67, N4, p. 51-57.
3. Mukhaelyan Zh.H., Poghosyan G.H., Vardevanyan P.H. Effect of extremely high frequency EMI on lipid peroxidation and activities of antioxidant enzymes of wheat shoots, International workshop on ionizing and non-ionizing radiation influence on structure and biophysical properties of living cells, Abstracts, Tsaghkadzor, Armenia, September 25-27, 2015.
4. Mukhaelyan Zh.H., Poghosyan G.H., Vardevanyan P.H. Effect of extremely high frequency EMI on lipid peroxidation and activities of antioxidant enzymes of wheat shoots. Biolog. J. of Armenia, v. 68, N1, 2016, p. 24-29.
5. Mukhaelyan Zh.H., Poghosyan G.H., Vardevanyan P.H. Wheat seedlings growth and antioxidant system activity changes as responses to millimeter waves irradiation. Сб. Тезисов Межд. Конф. "Биология- наука XXI века", Пушкино, 18-22 апреля, Россия, 2016, с. 63-64.
6. Mukhaelyan Zh.H., Poghosyan G.H., Zakaryan A.E. Electromagnetic irradiation with extremely high frequencies effect study on lipid free-radical oxidation in wheat seedlings by chemiluminescence method. Proc. of The YSU, Chem. and Biol., 2016, N3, p. 30-34.
7. Poghosyan G.H., Mukhaelyan Zh.H., Vardevanyan P.H. Cadmium induced oxidative stress and growth parameters of wheat plants. Сб. Тезисов Межд. Конф. "Биология- наука XXI века", Пушкино, 18-22 апреля, Россия, 2016, с. 65.
8. Вардеванян П.О., Закарян А.Е., Погосян Г.А., Мухаелян Ж.Г. Влияние электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на хемилюминесценцию и активность антиоксидантной системы проростков *Triticum aestivum* L. Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистемы. Международная конференция, 12-ый съезд Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 28-30 июня, 2016, часть 2, Изд. Центр БГУ, 2016, с. 95-98.
9. Мухаелян Ж.Г. Изменение некоторых морфометрических показателей проростков пшеницы, облученных ЭМИ КВЧ-диапазона. Биолог. Ж. Армении, 2017, т. 69, N1, с. 96-101.
10. Mukhaelyan Zh.H. EMI EHF-induced changes of free-radical oxidation processes in triticum aestivum L. seedlings. Proc. of The YSU, 2017, v. 51, N1, p. 31-37.
11. Poghosyan G., Mukhaelyan Zh., Vardevanyan P. Combined effect of cadmium ions and millimeter range waves on growth and antioxidant enzymes activity of wheat seedlings. 2nd International Conference "Smart Bio", 03-05 May, 2018, Kaunas, Lithuania, Abstract Book, p. 129.
12. Poghosyan G.H. Mukhaelyan Zh.H. The influence of low-intensity EMI treatment on seed germination and early growth of wheat. Proc. of The YSU, v. 52, N2, 2018, p. 110-115.
13. Погосян Г.А., Мухаелян Ж.Г., Вардеванян П.О. Раздельное и совместное действие кадмия и ЭМИ КВЧ- диапазона на рост и перекисное окисление липидов проростки пшеницы- Межд. научная конф.: Молекулярные, мембранные и клеточные основы функционирования биосистем, 13-й съезд Белорусского общественного объединения фотобиологов и биофизиков, Минск, 28-30 июня, 2018, Сборник статей, с. 61.
14. Погосян Г.А., Мухаелян Ж.Г., Вардеванян П.О. Оценка эффектов воздействия миллиметровых волн низкой интенсивности и ионов кадмия на проростки пшеницы. VIII Международный конгресс "Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине", 10-14 сентября, 2018, Санкт-Петербург, Россия, Научные труды конгресса, т. 8, с. 143.
15. Mukhaelyan Zh.H., Shahinyan M.A., Poghosyan G.H. Study of the joint effect of millimeter range electromagnetic waves and cadmium ions on malonic dialdehyde concentration and catalase activity in wheat seedling cells. Proceedings of The Yerevan State University, 2019, v. 53, N1, p. 18-22.

ՄՈՒԽԱԵԼՅԱՆ ԺԱՆՆԱ ՀԱՅԿԱԶԻ

ՄԻԼԻՄԵՏՐԱՅԻՆ ՏԻՐՈՒՅԹԻ ԷԼԵԿՏՐԱՄԱԳԼԻՄԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ
ԱԶՂԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՑՈՐԵՆԻ ԾԼՈՂ ՍԵՐՄԵՐԻ ՎՐԱ

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Հանգուցային բառեր. Ցորենի ծիլեր, ծիլի մորֆոմետրիկ ցուցանիշներ, ազատ ռադիկալային պրոցեսներ, քեմիլյումինեսցենցիայի լուսագումար, մալոնային երկալդեհիդի քանակություն, կատալազի ակտիվություն, ճառագայթահարում, կադմիումական սթրես

Ներկայացված ատենախոսական աշխատանքում ուսումնասիրվել է միլիմետրային տիրույթի էլեկտրամագնիսական ալիքների (ՄՄ ԷՄԱ) ազդեցությունը ցորենի ծլող սերմերի աճի ու զարգացման, ինչպես նաև ծիլերի բջիջներում տեղի ունեցող ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվության և հակաօքսիդանտային համակարգի ակտիվության փոփոխությունների վրա: Ուսումնասիրվել է նաև ծանր մետաղ կադմիումի, ինչպես նաև ՄՄ ԷՄԱ և կադմիումի համատեղ ազդեցությունը նշված ցուցանիշների փոփոխության վրա:

Ուսումնասիրվել է ՄՄ ԷՄԱ ազդեցությունը ցորենի ծլող սերմերի ծլունակության, ծիլերի զանգվածի և երկարության աճի վրա: Պարզվել է, որ 51.8 Գձց հաճախությամբ ՄՄ ԷՄԱ ազդեցության ներքո ցորենի ծլող սերմերի ծլունակությունը խթանվում է: Ցույց է տրվել նաև, որ ՄՄ ԷՄԱ ազդեցության ներքո տեղի է ունենում ծիլերի զանգվածի ու երկարության աճի խթանում չճառագայթահարված ծիլերի համեմատ: 50.3 և 51.8 Գձց հաճախություններով ԷՄԱ ճառագայթահարման դեպքում ցորենի ծիլերի զանգվածի ու երկարության ավելի մեծ աճ է գրանցվում, քան 41.8 և 42.2 Գձց հաճախություններով ԷՄԱ ճառագայթահարելու դեպքում:

Ատենախոսական աշխատանքում ստացված տվյալներից երևում է, որ ՄՄ ԷՄԱ ազդեցությամբ ցորենի ծիլերի բջիջներում աճում է ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվությունը, ինչի մասին վկայում է առաջին հերթին սպոնտան քեմիլյումինեսցենստման էական ավելացումը, ընդ որում, արմատներում և ընձյուղներում քեմիլյումինեսցենստման լուսագումարի արժեքները իրարից էականորեն չեն տարբերվում: Ազատ ռադիկալային պրոցեսների ինտենսիվության մեծացման մասին կարելի է դատել նաև ըստ լիպիդների պերօքսիդային օքսիդացման (ԼՊՕ) վերջնանյութ հանդիսացող մալոնային երկալդեհիդի (ՄԵԱ) քանակության փոփոխության: Ցույց է տրվել, որ ճառագայթահարված բույսի բջիջներում դիտվում է ՄԵԱ-ի քանակության էական աճ, որն ավելի արտահայտված է 50.3 Գձց և 51.8 Գձց հաճախություններով ԷՄԱ ճառագայթահարելիս: Այս հանգամանքը բացատրվում է նրանով, որ նշված հաճախություններով ԷՄԱ ճառագայթահարման դեպքում բջիջներում տեղի է ունենում ազատ

նադիկալների կուտակում, ինչն էլ հանգեցնում է ՄԵԱ-ի քանակության աճին: Ի պատասխան այս վիճակին, բջիջներում փոխվում է հակաօքսիդանտային ֆերմենտների ակտիվությունը: Աշխատանքում ստացված արդյունքները վկայում են այն մասին, որ ճառագայթահարված ծիլերի բջիջներում աճում է կատալազի ակտիվությունը: Այդ աճը հատկապես կտրուկ է դիտվում 80ր գումարային տևողությանը ճառագայթահարման դեպքում, որը համընկնում է ՄԵԱ-ի քանակության անկման հետ: Այս փաստը վկայում է այն մասին, որ ՄՄ ԷՄԱ ազդեցությանը ենթարկված բույսերում կատալազը գործում է որպես պաշտպանական մեխանիզմի տարր, որն ակտիվանում է ազատ նադիկալային պրոցեսների ինտենսիվությունը ճնշելու համար:

Ատենայտուսական աշխատանքում ստացված տվյալներից հետևում է նաև, որ ծանր մետաղ կադմիումի ազդեցությամբ ցորենի ծիլերի աճի և զարգացման ընթացքում կենսազանգվածի աճը ճնշվում է դիտվում է զանգվածի ու երկարության աճի ինտենսիվության նվազում ստուգիչի համեմատ: Ընդ որում որքան մեծ է կադմիումի կոնցենտրացիան, այնքան նվազումն ավելի արտահայտված է: Կադմիումով հարուցված սթրեսի դեպքում փոխվում է նաև ծիլերի բջիջներում ՄԵԱ-ի քանակությունը, ընդ որում, փոփոխման ուղղվածությունն ու աստիճանը կախված են աճման միջավայրում կադմիումի իոնների կոնցենտրացիայից: Նվազում է նաև կատալազի ակտիվությունը, սակայն գվայակոլպերօքսիդազի ակտիվությունն աճում է: Կադմիումի քլորիդի լուծույթով մշակման դեպքում ցորենի ծիլերի աճի դանդաղումը, ՄԵԱ-ի քանակության, կատալազի և գվայակոլպերօքսիդազի ակտիվությունների փոփոխությունները վկայում են աճող օրգանիզմի վրա այս ծանր մետաղի տոքսիկ ազդեցության մասին:

Աշխատանքում ստացված տվյալները նաև վկայում են այն մասին, որ ցորենի ծիլերի վրա ՄՄ ԷՄԱ և կադմիումի համատեղ ազդեցության դեպքում տեղի է ունենում ծիլերի վերը նշված ցուցանիշների բարելավում՝ առանձին-առանձին կադմիումի և ՄՄ ԷՄԱ ազդեցությունների համեմատ, դրանց մոտեցում ստուգիչ արժեքներին: Ցույց է տրվել, որ ՄՄ ԷՄ Ալիքները էականորեն թուլացնում են կադմիումական սթրեսով հարուցված ցուցանիշների փոփոխությունները:

INFLUENCE OF MILLIMETER RANGE ELECTROMAGNETIC WAVES ON
WHEAT GERMINATING SEEDS

SUMMARY

Keywords: Wheat seedlings, seedling morphometric criteria, free radical processes, chemiluminescence light-sum, malonic dialdehyde amount, catalase activity, irradiation, cadmium stress

In the presented dissertation work the influence of millimeter range electromagnetic waves (MM EMW) on the growth and development of wheat germinating seeds as well as on the changes both of intensity of the free radical processes and of the antioxidant system activity in cells of the seedlings has been studied. The effect of heavy metal cadmium on the mentioned criteria as well as the joint impact of MM EMW and cadmium on their change were investigated.

MM EMW effect on the wheat seed germinating ability, mass and length of the seedlings was studied. It was shown that under the effect of MM EMW with 51.8 GHz frequency the germinating ability of wheat seeds is stimulated. It was also shown that under the effect of MM EMW the stimulation of mass and length growth of the seedlings takes place as compared to sham-irradiated seedlings. In the case of irradiation with 50.3 and 51.8 GHz frequencies higher increase of the mass and length of the wheat seedlings was registered as compared to irradiation with 41.8 and 42.2 GHz frequencies.

It was also obvious from the data obtained in this dissertation work that due to MM EMW effect, the intensity of free radical processes in wheat seedling cells is stimulated, which is indicated first of all by the significant increase of spontaneous chemiluminescence, meanwhile, in the roots and sprouts the values of the chemiluminescence light-sum do not significantly differ from each other. The intensity increase of the free radical processes may be judged on the basis of malonic dialdehyde (MDA) amount change, which is a product of peroxide oxidation of lipids (POL). It was shown that in cells of the irradiated herb a significant enhancement of MDA amount is observed, which is more pronounced at the EMW exposure by 50.3 and 51.8 GHz frequencies. This fact is explained by the accumulation of free radicals taken place in the irradiated cells by these frequencies, which in turn results in MDA amount rising. As a response to this state the activity of antioxidant enzymes changes in the cells. The results, obtained in the work indicate that due to the irradiation the catalase activity increases in the seedling cells. This increase is especially drastically observed in the case of irradiation by 80 min sum duration, which coincides with MDA amount decrease. This indicates that in the herbs exposed to MM EMW the catalase acts as a protective mechanism element that is activated to suppress the intensity of the free radical processes.

It is also followed from the data received in the dissertation work that under the effect of heavy metal cadmium during the growth and development of wheat seedlings the biomass enhancement is suppressed – a decrease of the mass and length growth intensity is observed as compared to the control. Moreover, the higher is the cadmium concentration the more pronounced is the decrease. In the case of cadmium-induced stress MDA amount changes in the seedling cells, meanwhile the

direction and degree of the change depend on concentration of cadmium ions in the growth medium. Catalase activity decreases as well, though guaiacol peroxidase activity increases. At the treatment by cadmium chloride the growth slowing of the wheat seedlings, the changes of MDA amount, catalase and guaiacol peroxidase activities indicate the serious toxic properties of this heavy metal.

The obtained data also indicate that in the case of the joint influence of MM EMW and cadmium an improvement of the aforementioned criteria of the seedlings takes place as compared to the cadmium and MM EMW separate effects. Their approaching to the control values is observed. It was shown that MM EM waves significantly weaken the changes of these criteria induced by cadmium stress.