

УДК 615.214.3(07)

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КРАЙНЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ СЕМЯН *HORDEUM VULGARE* L. ПРИ ОСМОТИЧЕСКОМ СТРЕССЕ

Чмелёва С. И., Джелдубаева Э. Р., Туманянц К. Н., Сидякин А. И.

*Институт биохимических технологий, экологии и фармации (структурное подразделение)
ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: chmeleva-s@mail.ru*

Выявлены изменения биохимических показателей проростков семян ячменя озимого сорта Огоньковский (*Hordeum vulgare* L.) при осмотическом стрессе, вызванного хлоридным засолением при превентивном воздействии низкоинтенсивного электромагнитного излучения (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ). Так, показано, что при воздействии данного физического фактора отмечается снижение общей активности амилаз, существенное уменьшение активности каталазы, которая меняется в зависимости от содержания NaCl, а также содержание пролина в листьях превышает значения в контрольном варианте. Данные результаты свидетельствуют о том, что воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ вызывает положительные изменения метаболических процессов, вызывает стимуляцию физиологических процессов в прорастающих семенах и развивающихся из них растениях.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение крайне высокой частоты, *Hordeum vulgare* L., амилаза, каталаза, пролин.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время засоление относится к актуальным проблемам растениеводства Республики Крым. В условиях интенсификации сельского хозяйства, важное значение приобретает поиск и использование эффективных способов предпосевной обработки семян с целью получения растений, устойчивых к различным стрессовым условиям внешней среды, в том числе, и к засолению [1, 2]. Показано, что ввод Северо–Крымского канала и расширение площади орошаемых земель привело к обширному вторичному засолению почв. На значительной территории степного Крыма в настоящее время стало невозможно получать высокие урожаи различных сельскохозяйственных культур из-за негативного влияния засоляющих ионов. Засоление почвы создает крайне неблагоприятные условия для произрастания растений [3].

По данным литературы, повышение солеустойчивости возможно и с использованием предпосевной обработки регуляторами роста растений. Брассиностероиды, к которым относится эпибрасинолид (Эпин-экстра) является перспективным для создания эффективных экологически безопасных регуляторов,

повышающих урожайность растений в экстремальных условиях, например, при осмотическом стрессе, вызванного хлоридным засолением [4].

Перспективным и экологически безопасным техническим приёмом предпосевной обработки семян сельскохозяйственных культур является, превентивная обработка семян культурных растений электромагнитным излучением (ЭМИ) низкой интенсивности, в частности крайне высокой частоты (КВЧ) [5]. В наших предыдущих работах установлено положительное действие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на прорастание семян и ростовые процессы *Glycine max L.* как в оптимальных условиях, так и в условиях осмотического стресса. При этом увеличивается энергия прорастания и лабораторная всхожесть в среднем на 8–12 % при моделируемом хлоридном засолении в опытных вариантах по сравнению с контрольными, возрастает интенсивности транспирации в среднем на 48 % и снижению водного дефицита – на 50 % у опытных растений по сравнению с контрольными при хлоридном засолении [6, 7].

Ячмень озимый (*Hordeum vulgare L.*) сорта Огоньковский – одно из ценнейших сельскохозяйственных растений. Зерно ячменя масштабно используют для продовольственных и технических целей и др. Так же, ячмень относится к ценнейшим кормам для животных, в связи с содержанием полноценного белка [8]. На данный момент времени, данные литературы по влиянию низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона при осмотическом стрессе на прорастание и изменение морфометрических показателей проростков *Hordeum vulgare L.* отсутствуют.

В связи с вышеперечисленным, целью нашей работы явилось выявление влияния низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на биохимические показатели проростков семян *Hordeum vulgare L.* при осмотическом стрессе, вызванного хлоридным засолением.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальная часть работы проводилась на базе кафедры ботаники и физиологии растений и биотехнологии Института биохимических технологий, экологии и фармации ФГАОУ ВО «Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского», а также ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика».

Объектом исследований служили семена и проростки ячменя озимого (*Hordeum vulgare L.*) сорта Огоньковский.

Для превентивного воздействия ЭМИ КВЧ на экспериментальные семена использовали терапевтический генератор «КВЧ. РАМЕД-ЭКСПЕРТ – 01» (длина волны – 7,1 мм; частота излучения – 42,3 ГГц; плотность потока мощности облучения – 0,1 мВт/см², экспозиция 30 минут)

Определение суммарной активности амилаз проводилась выделением амилаз раствором NaCl, инкубацией их со стандартным раствором крахмала в течении заданного промежутка времени и, наконец, калориметрическое определение негидролизованного амилазами остаточного крахмала [9]. Навеску 4 г растирали с песком в охлажденной фарфоровой ступке с холодным 1 % раствором NaCl в соотношении 1:4, настаивали 1 час в холодильнике для лучшей экстракции фермента,

периодически помешивая. Затем содержимое количественно центрифугировали при 5–8 об/мин – 15 мин. Полученную надосадочную жидкость использовали в качестве ферментного препарата для определения активности фермента.

В 4 сухие пробирки для каждого варианта приливали по 3 мл 2 % раствора крахмала, 3 мл фосфатного буфера pH=5,5, 1 мл 3 % NaCl. В контрольную пробирку добавляли 2 мл 1н HCl для инактивации фермента. Затем во все пробирки добавляли по 0,5–1 (3мл) ферментного препарата по каждому варианту, хорошо перемешивали и ставили в термостат при $t=37^{\circ}\text{C}$ на 1 час. В это время амилаза гидролизует крахмал. По окончании экспозиции в опытные пробирки также добавляли 2 мл 1н HCl для остановки работы фермента.

Затем в мерные колбы на 25 или 50 мл наливали по 20 или 40 мл дистиллированной воды по числу пробирок и вариантов, по 0,5–1 мл 1н HCl, из каждой пробирки отбирали 0,25 или 0,5 мл гидролизата крахмала, 5 м капель 0,3 % раствора йода в 3 % растворе KI. Колбы доводили до метки водой, перемешивали и калориметрировали на ФЭКе при инфракрасном светофилтре в кюветах на 10 мл. Контролем служит дистиллированная вода.

Вычисление результатов: активность амилаз (в 1 мг гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 мл ферментативного раствора) рассчитывали по формуле:

$$AA = \frac{E_k - E_o}{E_k} \times \frac{2 \times 2}{60}$$

где AA – активность амилазы в мг гидролизованного крахмала за 1 час на 1 мг ферментативного препарата, E-экстинкция – светопоглощение контрольного и опытного растворов, 2,2 – пересчетные коэффициента на 1 час и 1 мл ферментного раствора, 60 – пересчетный коэффициент на 1 мг крахмала (3 мг 2 % раствора).

Определение активности каталазы основан на измерении времени, за которое опытный раствор достигает определенную оптическую плотность [10]. Навеску растительного материала (50 мг) растирали в ступке с водой, растительную вытяжку настаивали в течение 10 минут, а затем центрифугировали в течение 10 мин при 3000 об./мин. Надосадочную жидкость использовали для определения активности каталазы.

Определение проводили при длине волны $\lambda=240$ нм.

Активность каталазы рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{DE}{tc},$$

где D – оптическая плотность (0,1–0,2); E – разведение (перерасчет на 1 г сырой массы); t – время, с; d – толщина слоя жидкости, толщина кюветы (1 см).

Активность каталазы выражается в единицах оптической плотности на грамм сырой массы в секунду ($\Delta D_{670g-1 \cdot c-1}$).

Определение свободного пролина. Известно, что пролин – гетероциклическая аминокислота, содержание которой увеличивается многократно при стрессовых воздействиях. Накопление пролина помогает растениям адаптироваться к неблагоприятным условиям, в том числе и к засолению, защищая от инактивации белки, ДНК, ряд ферментов и другие важнейшие клеточные компоненты [11].

В чашках Петри на фильтровальной бумаге в воде выращивали 7–10-дневные проростки ячменя. Затем воду сливали и заливали в чашки 18 %-й раствор сахарозы. Через 48 или 72 ч определяли содержание пролина в срезанных листьях после осмотического стресса, предварительно определив его исходное содержание. Параллельно берут две-три пробы листьев (100 мг), высушивали их при 105 °С и находили сухую массу.

Затем берут 2 мл фильтрата и проводят дальнейшее определение как при построении калибровочной кривой. Концентрацию пролина определяют по калибровочному графику. Результаты расчета выражают в миллиграмм-процентах на сухое вещество, предварительно определив, сколько сухого вещества содержится в 1 г сырых листьев в контроле и при недостатке воды. Интенсивность окраски измеряют на ФЭКе при 520 нм против толуола [9].

Статистическую обработку полученных данных осуществляли, рассчитывая среднюю арифметическую и стандартную ошибку средней арифметической. Для определения достоверности различий между сравниваемыми пробами рассчитывали t-критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Влияние низкоинтенсивного ЭМИ на активность амилазы при прорастании семян *Hordeum vulgare* L.

Изучение активности амилазы проводили на 6 сутки прорастания семян, когда отмечается максимум активности суммарных амилаз зерновой массы в процессе прорастания семян ячменя. Результаты исследования показали, что в некоторых вариантах происходит увеличение активности α -амилазы по сравнению с контролем (рис. 1).

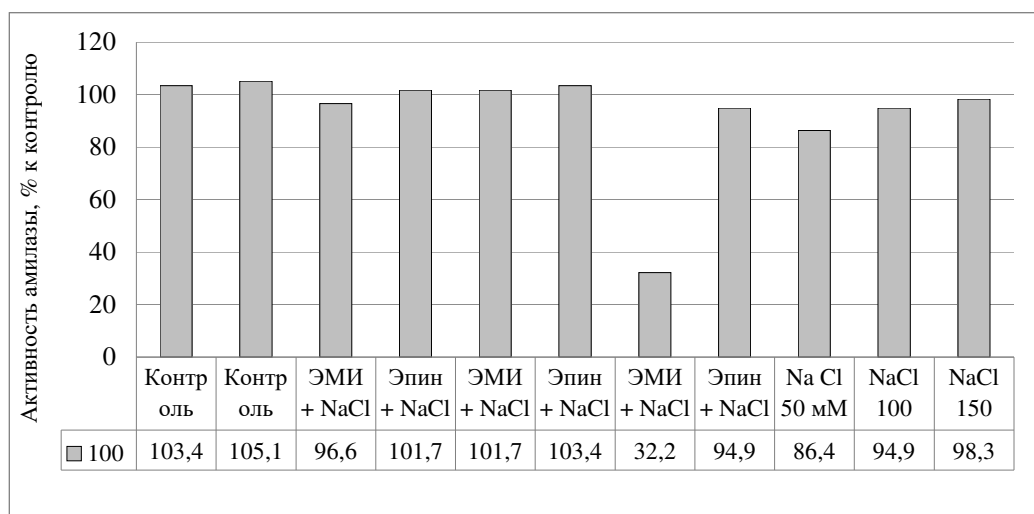


Рис.1. Влияние низкоинтенсивного ЭМИ и Эпин-Экстра на активность амилаз *Hordeum vulgare* L. под действием хлоридного засоления.

Это свидетельствует о более интенсивном гидролизе крахмала до сахаров, что Эпин-Экстра повышает активность амилазы при прорастании семян, а ЭМИ наоборот, снижает. Так, под действием низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ происходит небольшое, но достоверное снижение общей активности амилаз ячменя.

Данный физический фактор влияет и на соотношение активности α -амилаз. Во многом эти данные характеризуют интенсивность процессов «физиологического набухания», связанную с накоплением осмотически активных веществ в семенах.

Также изменения активности амилаз может быть связано с воздействием ферментов – протеаз, так как при прорастании семян латентная форма β -амилаз активируется именно под действием этих ферментов.

Снижение общей активности амилаз при действии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ возможно связано с уменьшением потребности проростка в глюкозе и энергии вследствие отмеченного нами торможения ростовых процессов или с повреждением ферментных систем на первой стадии стресса.

Таким образом, изменение активности амилазических ферментов тоже может расцениваться как проявление стрессовой реакции, причем экспозиция 30 мин – переход к фазе адаптации.

Влияние низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на активность каталазы при прорастании семян *Hordeum vulgare* L.

Результаты исследования показали, что обработка семян ячменя низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ оказала существенное влияние на активность фермента каталазы (табл. 1). Показано, что с увеличением концентрации NaCl меняется активность каталазы. Максимальное значение активности отмечено при концентрации NaCl 50 мМ. Последующее снижение активности фермента можно объяснить торможением синтетических процессов в проростке, что сказывается также и на ростовых процессах. Активность пероксидазы также меняется в зависимости от концентрации NaCl.

Во всех вариантах опыта на протяжении 3 суток активность каталазы снижалась. Исключение составил вариант опыта NaCl 50 мМ+ЭМИ, в котором наблюдается повышение активности каталазы на 14,51.

В контрольном варианте в течении 3 суток, активность каталазы в растениях подвергшихся электромагнитному излучению снизилась на 13,05 мг/л, а в растениях не подвергшихся облучению на 20,71. Следовательно, можно судить о том, что ЭМИ замедляет процесс снижения активности каталазы.

Первичная активизация метаболических процессов в прорастающих семенах обусловлена интенсификацией дыхания, сопряженного с окислительно-восстановительными реакциями растительного организма. Согласно современным представлениям, каталаза играет ведущую роль, регулируя окислительный режим в организме, и её активность может рассматриваться в качестве меры интенсивности и продуктивности общего метаболизма [13]. Также каталаза защищает живые организмы от повреждения перекисью водорода, образовавшейся в результате окислительно-восстановительных реакций [14].

Таблица 1.
Влияние гизкоинтенсивного ЭМИ на активность каталазы при прорастании семян

Варианты опыта	Активность каталазы в сутки ($\bar{x} \pm S_x$)		
	3 сутки	4 сутки	5 сутки
Контроль H ₂ O-дист	59,08±0,04	40,83 ±0,20	38,37±0,32
NaCl 50 мМ	67,29±0,06**	39,48 ±0,21**	34,19±0,41**
NaCl 100 мМ	40,92±0,02*	45,64±0,16*	39,43±0,24*
NaCl 150 мМ	41,16 ±0,01*	36,46±0,18 *	31,26±0,31 *
NaCl 200 мМ	39,01±0,01*	38,88±0,14 *	36,21±0,24*
H ₂ O –дист + ЭМИ	49,6 ±0,06**	37,9±0,21**	36,55±0,24**
NaCl 50 мМ +ЭМИ	50,27±0,04*	52,44±0,16*	64,78±0,18**
Na Cl 100 мМ+ЭМИ	41,87±0,08**	39,43±0,18 **	35,21±0,36*
NaCl 150 мМ+ЭМИ	39,62±0,01**	35,71±0,16 *	31,94±0,12*
NaCl 200 мМ+ЭМИ	35,44±0,01*	35,25±0,12 **	35,06±0,24*

Примечание к таблице: звездочками отмечены достоверные различия по сравнению с контролем при *P≤0,05, **P≤0,01, ***P≤0,001; н/д – разница не достоверна.

Таким образом, анализируя полученные данные по влиянию исследуемого ЭМИ на активность каталазы в прорастающих семенах ячменя сорта Огоньковский, можно сделать вывод о том, что максимальной концентрацией NaCl, стимулирующей повышение активности изучаемого фермента является 50 мМ. Максимальный эффект установлен нами при использовании NaCl в данной концентрации на протяжении всего периода исследований.

Установленная в результате проведенных исследований динамика активности каталазы, вероятно, связана с повышенным расходом энергии на интенсификацию физиолого-биохимических процессов в растении. Эта энергия поступает преимущественно при окислении запасных питательных веществ, сопровождающихся образованием большого количества перекисных соединений, утилизируемых каталазой.

Высокие концентрации NaCl при ЭМИ не изменили активность каталазы, в течении 3 суток показатель существенно не изменился.

В результате наших исследований установлено, что превентивное воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на семена ячменя вызвало существенное изменение

активности каталазы. Активность каталазы меняется в зависимости от содержания NaCl. Воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ снижает процесс снижения активности каталазы.

Влияние низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ на содержание свободного пролина при прорастании семян *Hordeum vulgare* L.

В результате проведенных экспериментов было показано, что под влиянием осмотического стресса в листьях проростков ячменя пролин накапливается в значительных количествах при воздействии ЭМИ в сравнении с контролем, которые выращивались при нормальных условиях водообеспечения.

Было выявлено, что содержание пролина больше в листьях при неблагоприятных условиях при обработке низкоинтенсивным ЭМИ, чем при нормальных условиях.

Данные свидетельствуют о том, что при обработке низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ уже у 7-мидневных проростков в условиях осмотического стресса содержание пролина в листьях превышает значения в контрольном варианте. Так, в листьях растений ячменя контрольного варианта содержание пролина составляло около лишь 0,4 мкмоль/г сухой массы. ЭМИ увеличивало его содержание до 0,7 мкмоль/г сухой массы.

Таблица 2.

Показатели содержания свободного пролина в проростках *Hordeum vulgare* L. при превентивном воздействии низкоинтенсивного ЭМИ

Вариант	Содержание пролина в сухой массе
1. H ₂ O-дист	0,39±0,02
2. NaCl 50 мм	1,1±0,03
3. NaCl 100 мм	1,9±0,02
4. NaCl 150 мм	2,3±0,05
5. H ₂ O-дист+КВЧ	0,63±0,04
6. NaCl 50 мм+КВЧ	0,49±0,03
7. NaCl 100 мм+КВЧ	1,3±0,05
8. NaCl 150 мм+КВЧ	1,8±0,02

Известно, что отрицательное влияние засоления на фотосинтетический аппарат растений может быть частично снято накоплением эндогенного пролина [15]. Весьма вероятно, что растения ячменя предотвращают массовое разрушение хлорофилла а и b при засолении за счет интенсивной аккумуляции пролина. Несмотря на то, что совместное действие NaCl и низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ способствовало снижению содержания пролина по сравнению с воздействием одной соли, его уровень, тем не менее, превышал контрольный, что, вероятно, являлось достаточным для стабилизации метаболизма фотосинтетических пигментов.

Помимо участия в осморегуляции и проявлении ряда других биологических эффектов пролин проявляет антиоксидантные свойства, что крайне важно,

поскольку засоление, как правило, вызывает развитие окислительного стресса [16]. Это делает важным в дальнейшем оценить уровень NaCl-индуцированного окислительного стресса в растениях ячменя и определить содержание низкомолекулярных органических антиоксидантов иной природы.

Исследования показали, что воздействие низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ вызывает положительные изменения метаболических процессов, вызывает стимуляцию физиологических процессов в прорастающих семенах и развивающихся из них растениях.

На основании проведенных исследований можно предложить некоторые рекомендации по использованию электромагнитного излучения в предпосевной обработке семян ячменя. Обработка ЭМИ будет способствовать повышению их посевных качеств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. При воздействии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ отмечается снижение общей активности амилаз (в среднем на 12 %, $p \leq 0,05$), что является проявлением стрессовой реакции, в частности, перехода к фазе адаптации
2. При воздействии низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ отмечается существенное уменьшение активности каталазы, которая меняется в зависимости от содержания NaCl. Максимальной концентрацией NaCl, стимулирующей повышение активности изучаемого фермента является 50 мМ. Высокие концентрации NaCl при воздействии низкоинтенсивного ЭМИ не изменяют активность каталазы.
3. При обработке низкоинтенсивным ЭМИ КВЧ уже у 7-мидневных проростков в условиях осмотического стресса содержание пролина в листьях превышает значения в контрольном варианте.

Работа выполнена на базе ЦКП «Экспериментальная физиология и биофизика» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

Список литературы

1. Хитров Н. Б. Изменение засоленности почв и грунтовых вод рисовых систем Присивашской низменности после прекращения орошения / Н. Б. Хитров, Л. В. Роговнева, В. С. Паштецкий // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2020. – Вып. 102. – С. 70–102. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-10270-102
2. Ляшевский В. И. Мелиоративная характеристика орошаемых земель Крыма / В. И. Ляшевский, М. В. Вердыш // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2018. – № 3(31). – С. 86–99. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-86-99
3. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии: Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Коллективная монография. – М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева Россельхоз академии. – 2013. – 2G13. – 756 с.
4. Джайхун А. С. Изучение и оценка по признакам морозостойкости и скороспелости новых сортов и линий озимой мягкой пшеницы, селекции и применения биопрепаратов / А. С. Джайхун,

- Г. А. Мырзабаева, А. Б. Идрисова // Молодой ученый. – 2016. – №26. – С. 430–435. – URL <https://moluch.ru/archive/130/36159/>
5. Таланов П. И. Влияние агрохимикатов и электромагнитных полей КВЧ диапазонов при предпосевной обработке семян и фонов питания на формирование урожайности озимой ржи / П. И. Таланов, Ф. Ш. Фасхутдинов, Г. С. Миннуллин, И. П. Таланов // Агрохимический вестник. – 2016 – № 6. – С. 56–85.
 6. Chmeleva S. I. Adaptogenic Effect of Low-Intensity Millimeter-Wave Electromagnetic Radiation on Glycine max L. under Osmotic Stress / S. I. Chmeleva, K. N. Tumanyants, A. I. Sidyakin // XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021) 25th–28th May 2021, Simferopol, Crimea. – 853 – 012018.
 7. Chmeleva S. I. Influence of low-Intensity Electromagnetic Radiation of the Millimeter Range on the Antioxidant System of Juvenile Glycine max L. Plants under Osmotic Stress / S. I. Chmeleva, K. N. Tumanyants, N. S. Yarmolyuk // XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021) 25th–28th May 2021, Simferopol, Crimea. – Sci. 853 – 012017.
 8. Беленкевич О. А. Продолжительность периодов онтогенеза и вегетации растений ячменя в зависимости от сорта и метеорологических условий сезона / О. А. Беленкевич // С/Х биология. – 2003. – №5. – С. 37–43.
 9. Третьяков Н. Н. Практикум по физиологии растений / Н. Н. Третьяков, Л. А. Паничкин, М. Н. Кондратьев и др. – М.: КолосС, 2003. – С. 172–174.
 10. Алехина Н. Д. Физиология растений / Н. Д. Алехина, Ю. В. Балнокин, В. Ф. Гавриленко и др.; под ред. И. П. Ермакова. – М.: Издательский центр «Академия». – 2005. – С. 450.
 11. Szabados L. Proline: a multifunctional amino acid / L. Szabados, A. Savaure // Trends Plant Sci. – 2010. – Vol. 15, № 2. – P. 89–97.
 12. Akashi K. Citrulline, a novel compatible solute in droughttolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger / Akashi K., Miyake C., Yokota A. // FEBS Lett. – 2001. – Vol. 508, № 3. – P. 438–442.
 13. Кошеляев В. В. Влияние элементов технологии на урожай и посевные качества семян озимой пшеницы / В. В. Кошеляев, Л. В. Карпова // Нива Поволжья. – 2014. – № 4(33). – С. 6–65.
 14. Чеснокова Н. П. Механизмы структурной и функциональной дезорганизации биосистем под влиянием свободных радикалов / Н. П. Чеснокова, Е. В. Понукалина, М. Н. Бизенкова // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 4. – С. 110–121.
 15. Кузнецов В. В. Проллин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / В. В. Кузнецов, Н. И. Шемякова // Физиология растений. – 1999. – Т 46. – С. 321–336.
 16. Джавадиан Н. Вызванные холодом изменения активности ферментов и содержания пролина, углеводов и хлорофиллов у пшеницы / Н. Джавадиан, Г. Каримзаде, С. Мафузи, Ф. Ганати // Физиология растений. – 2010. – Т 57, № 4. – С. 580–588.

INFLUENCE OF LOW-INTENSE ELECTROMAGNETIC RADIATION OF EXTREMELY HIGH FREQUENCY ON BIOCHEMICAL INDICATORS OF SEEDS OF *HORDEUM VULGARE* L. SEEDS UNDER OSMOTIC STRESS

Chmeleva S. I., Dzheldubaeva E. R., Tumanyants K. N., Sidyakin A. I.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: chmeleva-s@mail.ru*

A promising and environmentally safe technique for pre-sowing treatment of crop seeds is the preventive treatment of seeds of cultivated plants with low-intensity electromagnetic radiation (EMR), in particular, extremely high frequency (EHF). The purpose of this work was to identify the effect of low-intensity EMR EHF (wavelength –

7.1 mm; radiation frequency – 42.3 GHz; radiation power flux density – 0.1 mW/cm², exposure 30 minutes) on the biochemical parameters of seedlings of the seed *Hordeum vulgare* L osmotic stress caused by chloride salinity.

The experimental part of the work was carried out on the basis of the Department of Botany and Plant Physiology and Biotechnology of the Institute of Biochemical Technologies, Ecology and Pharmacy of the Crimean Federal University named after V. I. Vernadsky, as well as the Center for Collective Use “Experimental Physiology and Biophysics”.

When exposed to low-intensity EMR EHF, there is a decrease in the total activity of amylases (on average by 12 %, $p \leq 0.05$), which is a manifestation of a stress reaction, in particular, a transition to the adaptation phase. The decrease in the overall activity of amylases under the action of low-intensity EMR EHF is possibly associated with a decrease in the seedling's need for glucose and energy due to the inhibition of growth processes noted by us or with damage to enzyme systems at the first stage of stress.

When exposed to low-intensity EMR EHF, a significant decrease in catalase activity is noted, which varies depending on the content of NaCl. The maximum concentration of NaCl that stimulates an increase in the activity of the studied enzyme is 50 mM. High concentrations of NaCl under the influence of low-intensity EMR do not change the activity of catalase. The primary activation of metabolic processes in germinating seeds is due to the intensification of respiration associated with redox reactions of the plant organism. The dynamics of catalase activity established as a result of the conducted studies is probably associated with increased energy consumption for the intensification of physiological and biochemical processes in the plant. This energy comes mainly from the oxidation of reserve nutrients, accompanied by the formation of a large amount of peroxide compounds utilized by catalase.

When treated with low-intensity EMR EHF, already in 7-day-old seedlings under conditions of osmotic stress, the content of proline in the leaves exceeds the values in the control variant.

Studies have shown that exposure to low-intensity EMR EHF causes positive changes in metabolic processes, causes stimulation of physiological processes in germinating seeds and plants developing from them.

Keywords: low-intensity electromagnetic radiation of extremely high frequency, *Hordeum vulgare* L., amylase, catalase, proline.

References

1. Khitrov N. B., Rogovnev L. V., Pashtetsky V. S. Change of salinity of soils and groundwater of rice systems of Prisivash lowland after the cessation of irrigation, *Bulletin of the Soil Institute named after V.V. Dokuchayev*, **102**, 70 (2020).
2. Lyashevsky V. I., Verdysh M. V. Meliorative characteristic of irrigated lands of Crimea, *Scientific Journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems*, **3(31)**, 86 (2018).
3. Scientific bases of prevention of soil (land) degradation of agricultural lands of Russia and formation of systems of reproduction of their fertility in adaptive landscape agriculture: *T. 1. Theoretical and methodological bases of prevention of soil degradation (land) agricultural land. Collective monograph. M.: Sov. in-t them. V. V. Dokuchaev Rosselkhoz Academy*, **2G13**, 756 (2013).
4. Jayhun A. S., Myrzabayev G. A., Idrissov A. B. Study and evaluation of new varieties and lines of winter soft wheat, selection and use of biopreparations, *Young scientist*, **26**, 430 (2016).

5. Talanov P. I., Fashutdinov F. S., Minnoullin G. S., Talanov I. P. Influence of agrochemicals and electromagnetic fields of EHF ranges during pre-seeded treatment of seeds and nutrition backgrounds on formation of grain yield of rye, *Agro* **6**, 56 (2016).
6. Chmeleva S. I., Tumanyants K. N., Sidyakin A. I. Adaptogenic Effect of Low-Intensity Millimeter-Wave Electromagnetic Radiation on Glycine max L. under Osmotic Stress, XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021), 853, 012018 (Simferopol, Crimea, 25th-28th May 2021).
7. Chmeleva S. I., Tumanyants K. N., Yarmolyuk N. S. Influence of low-Intensity Electromagnetic Radiation of the Millimeter Range on the Antioxidant System of Juvenile Glycine max L. Plants under Osmotic Stress, XIV International Conference Space and Biosphere (Space and Biosphere 2021), 853, 012017. (25th-28th May 2021, Simferopol, Crimea).
8. Belenkevich O. A. Duration of periods of ontogeny and vegetation of barley plants depending on the variety and meteorological conditions of the season, *S/X biology*, **5**, 37 (2003).
9. Tretyakov N. N., Panichkin L. A., Kondratiev M. N., et. al. *Workshop on plant physiology*, 172 (M.: ColosS, 2003).
10. Alekhina N. D., Balnokin Yu. V., Gavrilenko V. F. et al. *Plant Physiology*, 450 (M.: Publishing Center «Academy», 2005).
11. Szabados L., Savouré A. Proline: a multifunctional amino acid, *Trends Plant Sci.*, **15** (2), 89 (2010).
12. Akashi K., Miyake C., Yokota A. Citrulline, a novel compatible solute in droughttolerant wild watermelon leaves, is an efficient hydroxyl radical scavenger, *FEBS Lett*, **508** (3), 438 (2001).
13. Mowing V. V., Karpova L. V. Influence of elements of technology on the yield and sowing qualities of winter wheat, *Niva of the Volga region*, **4(33)**, 6 (2014).
14. Chesnokova N. P., Ponukalin E. V., Bizenkov M. N. Mechanisms of structural and functional disorganization of biosystems under the influence of free radicals, *Fundamental research*, **4**, 110 (2007).
15. Kuznetsov V. V., Shevyakov N. I. Proline under stress: biological role, metabolism, regulation, *Physiology of plants*, **46**, 321 (1999).
16. Javadian N., Karimzade G., Mafusi S., Ganati F. Cold-induced changes in enzyme activity and proline, carbohydrate and chlorophyll content in wheat, *Physiology of plants*, **57** (4), 580 (2010).