

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ГРЕЧИХЕ ПОСЕВНОЙ

Ж. Э. МАЗЕЦ¹⁾, О. А. СУША¹⁾, Н. А. ЕЛОВСКАЯ²⁾, Ж. Н. КАЛАЦКАЯ³⁾, Т. А. БОНИНА¹⁾

¹⁾Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,
ул. Советская, 18, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Средняя школа № 141, ул. Герасименко, 21, 220047, г. Минск, Беларусь

³⁾Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси,
ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Беларусь

Установлена сортоспецифичная реакция ди- и тетраплоидных сортов гречихи посевной (*Fagopyrum sagittatum gilib*) на следующие режимы низкоинтенсивного электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона: 1 и 1.1 (частота – от 54 до 74 ГГц, время воздействия – 20 и 12 мин соответственно); 2, 2.1 и 2.2 (частота – от 62 до 64 ГГц, время воздействия – 20, 12 и 8 мин соответственно). Выявлено, что у диплоидного сорта Купава режимы с максимальным (20 мин) и минимальным (8 мин) временем воздействия повышали выход электролитов через покровы семян относительно контроля. Отмечено, что применение режимов 1, 2 и 2.2 сопровождалось увеличением активности пероксидазы, снижением энергии прорастания и всхожести, а также замедлением ростовых процессов. Электропроводность экссудатов из семян тетраплоидного сорта Александрина после 24 ч инкубации линейно снижалась относительно контроля в указанных вариантах обработки от режима 1 до режима 2.2. Обработка семян режимами электромагнитного излучения в течение 12 или 8 мин приводила к снижению активности пероксидазы, сопровождалась активизацией прорастания и стимуляцией ростовых процессов. Полученные результаты раскрывают отдельные стороны механизма взаимодействия электромагнитного излучения с растительными объектами, что позволит более обоснованно использовать определенные режимы при выращивании гречихи посевной.

Ключевые слова: низкоинтенсивное электромагнитное излучение; гречиха посевная; электропроводность; пероксидаза; энергия прорастания; всхожесть; ростовые процессы.

Благодарность. Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории радиофизических исследований НИУ «Институт ядерных проблем» Белорусского государственного университета В. Н. Родионовой и Н. В. Пушкиной за обработку семян.

Образец цитирования:

Мазец Ж. Э., Суша О. А., Еловская Н. А., Калацкая Ж. Н., Бонина Т. А. Исследование физиологических эффектов низкоинтенсивного электромагнитного излучения на гречихе посевной // Журн. Белорус. гос. ун-та. Биология. 2017. № 2. С. 36–42.

For citation:

Mazets Z. E., Susha O. A., Yalouskaya N. A., Kalatskaja J. N., Bonina T. A. Investigation of physiological effects of low intensity electromagnetic radiation on buckwheat. *J. Belarus. State Univ. Biol.* 2017. No. 2. P. 36–42 (in Russ.).

Авторы:

Жанна Эмануиловна Мазец – кандидат биологических наук, доцент; доцент кафедры общей биологии и ботаники факультета естествознания.

Ольга Александровна Суша – аспирантка кафедры общей биологии и ботаники факультета естествознания. Научный руководитель – Ж. Э. Мазец.

Нинель Анатольевна Еловская – магистр биологических наук; учитель биологии и химии.

Жанна Николаевна Калацкая – кандидат биологических наук; ведущий научный сотрудник лаборатории роста и развития растений.

Татьяна Александровна Бонина – кандидат химических наук, доцент; доцент кафедры общей биологии и ботаники факультета естествознания.

Authors:

Zhanna Mazets, PhD (biology), docent; associate professor at the department of general biology and botany, faculty of natural sciences.

zhannamazets@mail.ru

Olga Susha, postgraduate student at the department of general biology and botany, faculty of natural sciences.

olgasusha2013@mail.ru

Ninel Yalouskaya, master of science (biology); teacher of biology and chemistry.

tytsi_92@mail.ru

Joanna Kalatskaja, PhD (biology); leading researcher at the laboratory of growth and development of plants.

kalatskayaj@mail.ru

Tatsiana Bonina, PhD (chemistry), docent; associate professor at the department of general biology and botany, faculty of natural sciences.

tatbonina@gmail.com

INVESTIGATION OF PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF LOW INTENSITY ELECTROMAGNETIC RADIATION ON BUCKWHEAT

Z. E. MAZETS^a, O. A. SUSH^a, N. A. YALOUSKAYA^b, J. N. KALATSKAJA^c, T. A. BONINA^a

^aBelarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank, Savieckaja Street, 18, 220030, Minsk, Belarus

^bSecondary school No. 141, Hierasimienki Street, 21, 220047, Minsk, Belarus

^cV. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus,
Akademičnaja Street, 27, 220072, Minsk, Belarus

Corresponding author: Z. E. Mazets (zhannamazets@mail.ru)

A variety-specific reaction of di- and tetraploid varieties of buckwheat (*Fagopyrum sagittatum gilib*) on the modes of low-intensity electromagnetic radiation of the microwave range: modes 1 and 1.1 frequency 54–74 GHz, time 20 and 12 min respectively; modes 2, 2.1 and 2.2 – frequency 62–64 GHz and time 20, 12 and 8 min respectively was noted. It was revealed that modes with maximum (20 min) and minimum (8 min) exposure time increased the yield of electrolytes through seed's covers relative to control in the diploid variety Kupava. The use of modes 1, 2 and 2.2 was accompanied by an increase in peroxidase activity, a decrease in germination energy, germination and a slowing down of growth processes. The electrical conductivity of the seed's exudates of the tetraploid variety Alexandrina after 24 h of incubation decreased linearly with respect to the control in the indicated treatment variants from mode 1 to mode 2.2. Seed treatment with electromagnetic radiation modes for 12 or 8 min led to a decrease in peroxidase activity, accompanied by activation of germination and stimulation of growth processes. The received results reveal some aspects of the mechanism of electromagnetic radiation interaction with plant objects. It allows more justified use of certain modes in the cultivation of buckwheat.

Key words: low-intensity electromagnetic radiation; buckwheat; conductivity; peroxidase; germination energy; germination; growth processes.

Acknowledgements. The authors are grateful to employees of the radiophysical research laboratory of the Institute for Nuclear Problems of the Belarusian State University V. N. Rodionova and N. V. Pushkina for seed treatment.

Увеличение производства и урожайности сельскохозяйственной продукции в условиях Республики Беларусь является приоритетным направлением экономического развития нашей страны. Повысить продуктивность может применение эффективных технологий подготовки семян к посеву (химические, термохимические, термические методы и технические средства), а также энергоэкономных приемов при обработке семян и растений. Много позитивных отзывов получила предпосевная электромагнитная обработка [1–4].

Все виды электромагнитных излучений (ЭМИ) при воздействии на семена растений имеют зоны стимуляции и угнетения в зависимости от дозы облучения. Наиболее глубоко изучено влияние электромагнитного поля (ЭМП) сверхвысокой частоты (СВЧ) [4]. Однако механизм процессов взаимодействия ЭМИ СВЧ-диапазона с растительными объектами до конца неясен. Несмотря на существование различных точек зрения, многие ученые едины в главном: ЭМП возмущения воздействуют прежде всего на физико-химические процессы, а через них – на направленность биохимических реакций [5]. В связи с этим актуальным представляется исследование физиологических эффектов, которые низкоинтенсивное ЭМИ вызывает у растений на ранних этапах онтогенеза. Цель настоящей работы – изучить физиологические реакции растений ди- и тетраплоидных сортов гречихи посевной (*Fagopyrum sagittatum gilib*) на различные режимы низкоинтенсивного ЭМИ СВЧ-диапазона на ранних этапах онтогенеза.

Объектами исследования являлись ди- и тетраплоидный сорта гречихи посевной – Купава и Александрина соответственно – из коллекции Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по земледелию. Гречиха – ценная крупяная культура, широко используемая в пищевой и медицинской промышленности, сельском хозяйстве (в качестве корма для скота и зеленого удобрения) [6]. Однако Беларусь не обеспечивает свои потребности в гречневых крупах [7]. Так, из-за низкой урожайности, обусловленной биологическими особенностями этой культуры, которые связаны с разновременным созреванием семян в различных ярусах и неспособностью переносить климатические колебания, посевы гречихи в Республике Беларусь в 2016 г. сократились по сравнению с 2015 г. почти вдвое – с 30,14 до 15,6 тыс. га [7; 8].

В качестве стимулирующего фактора воздействия на растения было выбрано ЭМИ. Семена гречихи посевной (*Fagopyrum sagittatum gilib*) были обработаны следующими режимами ЭМИ:

- 1 и 1.1 (частота – от 54 до 74 ГГц, время воздействия – 20 и 12 мин соответственно);
- 2, 2.1 и 2.2 (частота – от 62 до 64 ГГц, время воздействия – 20, 12 и 8 мин соответственно).

Семена обрабатывались в Институте ядерных проблем Белорусского государственного университета. В качестве контроля служили необработанные семена. Выбор режимов обусловлен выполненными ранее теоретическими и экспериментальными исследованиями взаимодействия низкоинтенсивного ЭМИ с биологической мембраной, которые подтвердили правильность взятой в качестве объекта для электродинамического анализа модели структуры биологической мембраны [9].

Энергия прорастания и всхожесть в лабораторном эксперименте оценивались на 3-й и 7-й день соответственно. Оба показателя отражены в процентах проросших семян к их общему количеству в пробе. Проросшими считали семена, у которых длина корешков или одного главного корешка составляла не менее длины семени, а длина ростка достигала не менее половины длины семени [10]. Повторность опыта являлась трехкратной.

Исследования по определению целостности семенных оболочек и функциональной активности клеточных мембран проводились на базе Института экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси с использованием кондуктометрического метода. Электропроводность на грамм семени для каждого образца рассчитывали следующим образом: (электропроводность (мкS) для каждого сосуда) / (вес (г) образца в сосуде) = $\text{мкS} \times \text{см}^{-1}/\text{г}$ [10–13]. Электропроводность семян гречихи определяли по выходу электролитов в раствор в течение 20–24 ч гидратации семян при температуре 20 °C с помощью кондуктометра Hanna HI 9932. Лабораторные опыты проведены в трех биологических и пяти аналитических повторностях.

Активность растворимой пероксидазы в образцах определяли по Бояркину, используя в качестве хромогенного субстрата бензидин. Значение оптической плотности фиксировали через 2 мин при длине волны 590 нм на спектрофотометре Spescord-50 (Германия). Активность пероксидаз в экстракте (А) рассчитывали по формуле

$$A = \frac{E \cdot a \cdot \sigma \cdot b}{c \cdot t},$$

где E – оптическая плотность (ед.); a – отношение количества буферной смеси, взятой для экстрагирования фермента (мл), к навеске растительной ткани (г); σ – степень дополнительного разведения; b – степень постоянного разведения вытяжки в реакционной смеси; c – толщина слоя в кювете (см); t – время (мин), и выражали в единицах активности в минуту [14].

Данные обрабатывались общепринятыми статистическими методами анализа [15; 16] при помощи пакета Microsoft Office Excel.

Пусковым фактором прорастания семени является процесс набухания, связанный с поступлением воды через полупроницаемые пограничные барьеры (семенные покровы, клеточные стенки и мембраны). Однако скорость поступления воды и интенсивность выхода веществ через семенные покровы определяются свойствами этих барьеров, физиологическим качеством семян [13] и влиянием на них эндо- и экзогенных факторов. В связи с этим на семенах ди- и тетраплоидной форм гречихи изучены целостность их семенных оболочек и функциональная активность клеточных мембран при набухании под действием ЭМП СВЧ-диапазона в нескольких режимах, различающихся частотой и временем воздействия. Кондуктометрический метод позволяет оценить целостность клеточных мембран по выходу клеточных метаболитов, в том числе электролитов (таких как сахарофосфаты, аминокислоты, K^+ и др.), в раствор [13]. По мере того как семена гидратируются, способность их клеточных мембран к восстановлению повреждений, полученных в период созревания и хранения, будет влиять на степень выхода электролитов. Следовательно, чем выше скорость, с которой семена могут восстанавливать целостность мембран, тем ниже выход электролитов и тем лучше качество семян [10; 13].

В ходе эксперимента установлено, что у гречихи сорта Купава электропроводность экссудатов из семян увеличилась при обработке режимами 1 и 2, т. е. в двух частотных диапазонах и при максимальном времени воздействия (20 мин), и сохранялась повышенной в данных вариантах на протяжении всего опыта (рис. 1, а). Через 20 ч гидратации семян проницаемость семенных оболочек была выше контроля на 30 % после обработки семян режимом 1 и на 18 % – после применения режима 2. Отмечено, что через 3 ч после применения гидратации в режимах 2.1 и 2.2 проницаемость увеличивалась на 19 и 23 % соответственно, тогда как к концу эксперимента электропроводность снизилась относительно контроля на 21,4 и 6,8 % соответственно. В случае режима 1.1 отмечено незначительное повышение проницаемости семенных оболочек относительно контрольных значений.

У тетраплоидной гречихи сорта Александрина через 3 ч после инкубации семян в воде (см. рис. 1, б) выявлена четкая зависимость «доза – эффект» электропроводности экссудатов от времени и частоты воздействия. С увеличением времени до 20 мин мембраны все больше дестабилизируются и выход электролитов становится выше, чем в контрольном варианте: в случае режима 1 – на 20 %; в случае режима 2 – на 11,5 % (см. рис. 1, б). К концу опыта отмечены снижение проницаемости покровов и стабилизация мембранного комплекса.

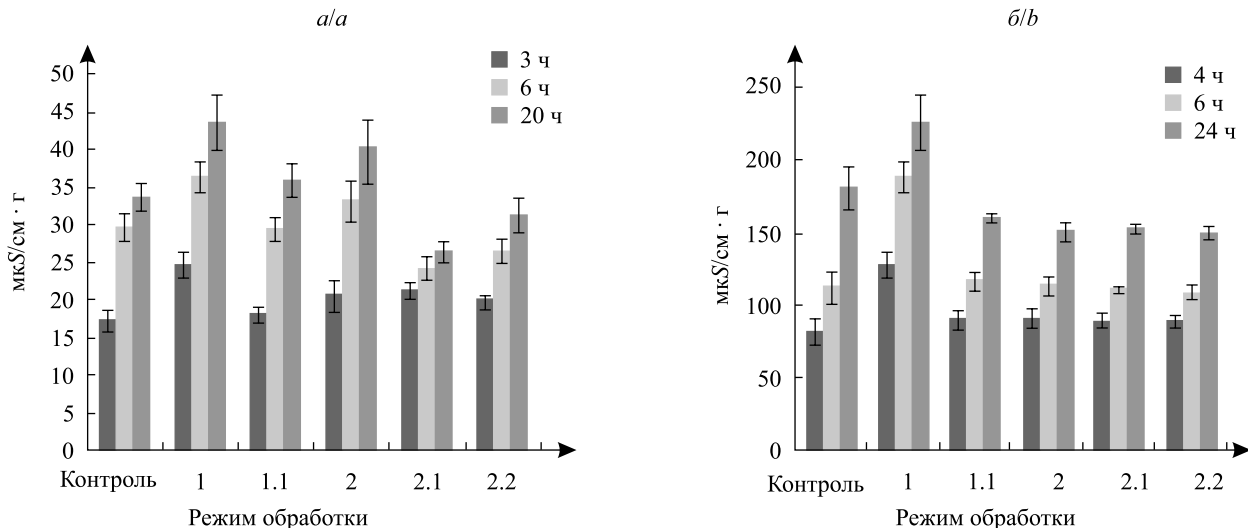


Рис. 1. Влияние обработки режимами ЭМИ на электропроводность экссудатов из семян тетраплоидной гречихи сортов Куपाва (а) и Александрина (б) после гидратации

Fig. 1. The effect of treatment by EMR regimes on the conductivity of exudates of tetraploid buckwheat seeds varieties Kupava (a) and Alexandrina (b) after hydration

Исследованы ростовые процессы двух сортов гречихи, семена которых были обработаны различными режимами ЭМИ. Выявлено, что режимы 1 и 2 снижали энергию прорастания у сорта Купава на 15 и 10 % соответственно, а также уменьшали всхожесть на 10 и 5 % соответственно относительно контроля (рис. 2, а). Максимальное снижение посевных качеств отмечено в случае режима 2.2 с минимальным временем воздействия в узком частотном диапазоне. После применения режима 2.1 обсуждаемые параметры возросли на 10 %. Анализ посевных свойств семян сорта Александрина после воздействия ЭМИ показал, что, за исключением режимов 1.1 и 2.2, повышающих обсуждаемые показатели на 5 и 10,2 % соответственно, другие варианты не оказывали достоверно значимого влияния на энергию прорастания и всхожесть (см. рис. 2, б).

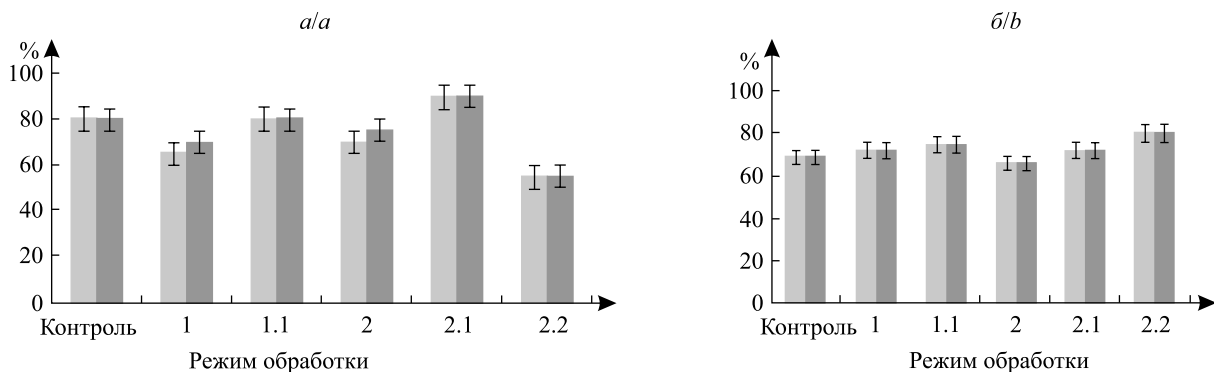


Рис. 2. Влияние ЭМИ на посевные качества семян гречихи посевной сортов Купава (а) и Александрина (б): ■ – энергия прорастания; ■ – всхожесть

Fig. 2. Influence of EMR on the sowing quality of the buckwheat seeds varieties Kupava (a) and Alexandrina (b): ■ – germination energy; ■ – germination

Анализ влияния режимов ЭМИ на ростовые процессы ювенильных 7-дневных растений гречихи посевной сорта Купава выявил снижение ростовых процессов как корней, так и проростков во всех случаях (см. таблицу), при этом наиболее ингибирующий эффект оказал режим 2.2. Так, зафиксировано снижение длины проростков – от 4,3 % (режим 2.1) до 11 % (режим 2.2) – относительно контроля, но более существенной была убыль их массы – от 16,2 % (режим 2) до 34 % (режим 2.2). Отмечено незначительное отрицательное отклонение от контрольных значений длины корневой системы – от 5,6 % (режим 2) до 5,8 % (режим 1) – на фоне сильного торможения прироста их массы: от 23,2 % (режим 2.1) до 43,4 % (режим 2.2).

Влияние режимов ЭМИ на морфометрические параметры ювенильных растений гречихи посевной

Influence of EMR regimes on the morphometric parameters of the juvenile buckwheat plants

№ п/п	Режим обработки	Длина, см		Масса, г	
		Корни	Проростки	Корни	Проростки
Сорт Купава (7-дневные растения)					
1	Контроль	6,0 ± 0,3	7,3 ± 0,4	0,033 ± 0,002	0,062 ± 0,003
2	1	4,5 ± 0,2*	6,6 ± 0,3	0,022 ± 0,003*	0,046 ± 0,003*
3	1.1	5,5 ± 0,3	6,9 ± 0,3	0,023 ± 0,002*	0,061 ± 0,003
4	2	5,1 ± 0,3*	6,7 ± 0,3	0,025 ± 0,002*	0,051 ± 0,004*
5	2.1	5,7 ± 0,3	6,9 ± 0,4	0,026 ± 0,003*	0,051 ± 0,003*
6	2.2	5,0 ± 0,3*	6,5 ± 0,3	0,019 ± 0,002*	0,041 ± 0,002*
Сорт Александрина (6-дневные растения)					
1	Контроль	9,10 ± 3,31	9,20 ± 2,15	0,020 ± 0,011	0,140 ± 0,055
2	1	9,70 ± 2,48	10,10 ± 1,25	0,040 ± 0,012	0,230 ± 0,033
3	1.1	8,80 ± 2,59	9,90 ± 1,76	0,030 ± 0,014	0,210 ± 0,050
4	2	9,70 ± 2,86	10,10 ± 1,85	0,040 ± 0,015	0,210 ± 0,045
5	2.1	11,00 ± 3,31	9,40 ± 1,58	0,030 ± 0,012	0,190 ± 0,032
6	2.2	8,40 ± 3,23	9,50 ± 1,82	0,030 ± 0,014	0,210 ± 0,051

*Достоверно при $p \leq 0,05$.

В ходе исследования установлена несколько иная реакция ростовых процессов гречихи сорта Александрина в ответ на разные режимы ЭМИ. Выявлено, что все режимы стимулировали рост побегов (см. таблицу). Причем длина побегов увеличивалась незначительно и отличалась от контроля – от 7,6 % (режим 1.1) до 9,7 % (режим 1), тогда как прирост массы был более существенным – от 35,7 % (режим 2.1) до 64,3 % (режим 1). Реакция ростовых процессов корней зависела от режима. Так, применение режима 1.1 снижало данный показатель на 3,3 %, а режима 2.2 – на 8,7 %. Режимы 1 и 2 стимулировали рост корней на 6,6 %, а режим 2.1 – на 20,9 % относительно контроля. Отмечено увеличение массы корней после воздействия ЭМИ: в случае режимов 1.1 и 2.1 – на 50 %, в случае режимов 1, 2 и 2.2 – в два раза (см. таблицу).

Анализ влияния разных режимов ЭМИ на накопление сырой и сухой биомассы у растений гречихи сорта Александрина показал позитивные результаты во всех опытных вариантах (рис. 3). Наиболее существенно накопление сырой биомассы относительно контроля повышало применение режима 1 (68,8 %), наименее значительным оказалось применение режима 2.1 (37,5 %) (см. рис. 3, а). Прирост сухой биомассы отмечался на 60 % относительно контроля под влиянием режимов 1.1 и 2 и на 50 % после использования режимов 1, 2.1 и 2.2 (см. рис. 3, б). Таким образом, прирост сырой биомассы происходил или за счет повышения оводненности в результате осмотического стресса, или за счет сдвигов в активности и интенсивности метаболических процессов. Это нашло отражение и в функционировании компонентов антиоксидантной защиты – ферментов пероксидаз.

В ходе исследований активности пероксидазы в 4-дневных проростках гречихи диплоидной сорта Купава отмечено, что при частоте 54–78 ГГц и увеличении времени воздействия с 12 до 20 мин возрастает активность пероксидазы – с 1,9 до 24 % соответственно относительно контрольных значений. В противоположность этому при частоте 64–66 ГГц наблюдается иная тенденция: максимальная активность (на 17,5 % выше контроля) выявлена при минимальном времени воздействия (8 мин), а минимальный сдвиг (9,9 %) – при максимальной экспозиции (20 мин). После 12-минутного воздействия активность снизилась на 11,5 % относительно контроля (рис. 4).

У сорта Александрина под действием режимов 1.1, 2, 2.1 и 2.2 отмечено резкое снижение активности пероксидазы по сравнению с контрольными образцами – на 45,3; 11,4; 33,7 и 61,2 % соответственно (см. рис. 4). При этом с увеличением времени воздействия падение активности пероксидазы по отношению к контролю уменьшалось.

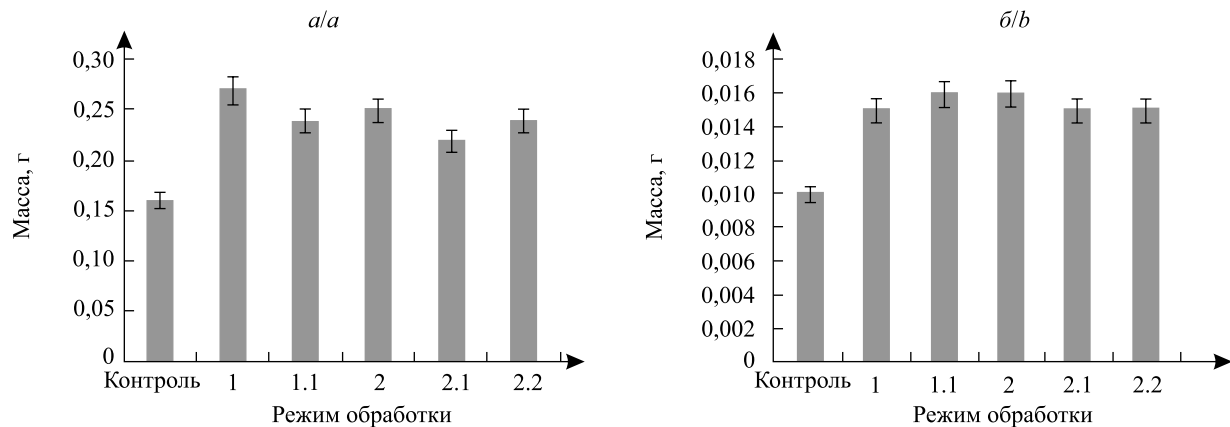


Рис. 3. Влияние ЭМИ на общую сырую (а) и сухую (б) массу 6-дневных растений тетраплоидной гречихи сорта Александрина

Fig. 3. Influence of EMR on the total crude (a) and dry (b) weight of the 6th-day tetraploid buckwheat plants of the variety Alexandrina

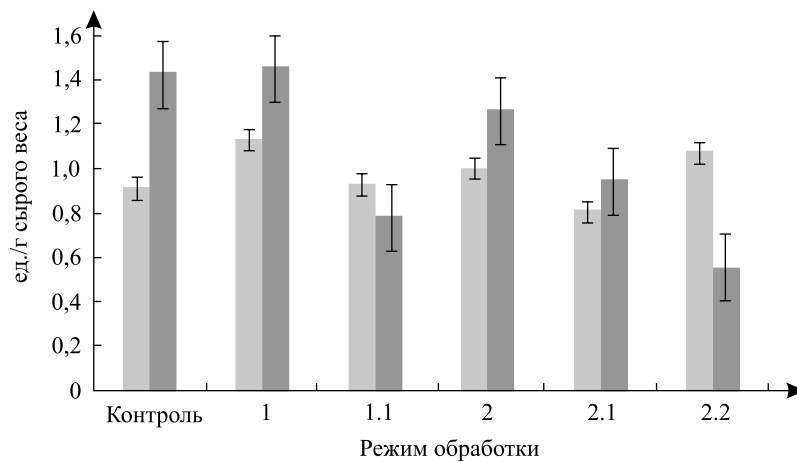


Рис. 4. Влияние режимов ЭМИ на активность пероксидазы в 5-дневных проростках гречихи посевной сортов Купава (■) и Александрина (□)

Fig. 4. Influence of EMR regimes on peroxidase activity of the 5th-day seedlings of the buckwheat varieties Kupava (■) and Alexandrina (□)

Таким образом, установлена сортоспецифичная реакция ди- и тетраплоидных сортов гречихи посевной на режимы ЭМИ. Отмечено, что в случае сорта Купава электропроводность экссудатов значительно увеличивается при максимальном времени воздействия ЭМИ на семена – 20 мин (режимы 1 и 2). Также обнаружено, что применение режимов 1, 2 и 2.2 приводит к повышению активности пероксидазы и торможению прорастания и ростовых процессов относительно контроля. Касательно сорта Александрина выявлена иная тенденция: зафиксирована первичная активация выхода электролитов из семян с постепенным замедлением к 24 ч инкубации и линейным снижением электропроводности в вариантах обработки от режима 1 до режима 2.2. Обработка семян в течение 12 или 8 мин приводит к снижению активности пероксидазы у данного сорта, сопровождается усилением прорастания и стимуляцией ростовых процессов. Полученные результаты раскрывают отдельные стороны механизма взаимодействия ЭМИ с растительными объектами и позволяют обоснованнее использовать определенные режимы при выращивании гречихи посевной.

Библиографические ссылки

1. Сазонова С. Н., Мазец Ж. Э., Спиридович Е. В. и др. Влияние электромагнитного и плазменного воздействия на рост и развитие *Calendula officinalis* L. // Весці БДПУ. Сер. 3, Фізика. Математика. Інфарматика. Біялогія. Географія. 2012. № 1. С. 3–10.
2. Пушкина Н. В., Мазец Ж. Э., Спиридович Е. В. и др. Особенности предпосевного электромагнитного воздействия на отдельные физиолого-биохимические процессы *Leonurus Cardiac* (L.) // Весці БДПУ. Сер. 3, Фізика. Математика. Інфарматика. Біялогія. Географія. 2012. № 3. С. 7–12.

3. Федорищенко М. Г., Жолобова М. В. Предпосевная электромагнитная обработка семян как один из наиболее безопасных и перспективных приемов рационального природопользования // Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования : сб. тез. и ст. Всеросс. конф. (Новочеркасск, 26–28 окт. 2011 г.). Новочеркасск, 2011. С. 135–136.
4. Шиш С. Н., Шутова А. Г., Мазец Ж. Э. и др. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения и сверхмалых концентраций экзогенной аминолевулиновой кислоты на отдельные физиолого-биохимические процессы лекарственных растений // Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине : науч. тр. Междунар. конгр. [Электронный ресурс]. URL: www.biophys.ru/archive/congress2015.pdf#page=111 (дата обращения: 15.12.2016). С. 111.
5. Чёрная М. А., Косулина Н. Г. Биофизический анализ воздействия информационного электромагнитного поля на биологические объекты [Электронный ресурс]. URL: http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_142/32.pdf (дата обращения: 25.10.2016).
6. Вавилов Г. П., Балышев Л. Н. Полевые сельскохозяйственные культуры СССР. Москва, 1975.
7. Особенности развития и размещения сельского хозяйства Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: <http://lektisii.org/8-23030.html> (дата обращения: 09.02.2017).
8. Беларусь вдвое сократит посевные под гречихой [Электронный ресурс]. URL: <http://agro2b.ru/ru/analytics/31948-Belarus-vdvoe-sokratit-posevnye-pod-grechihoj.html> (дата обращения: 09.02.2017).
9. Патент Респ. Беларусь № 5580. Способ предпосевной обработки семян овощных или зерновых культур / В. А. Карпович, В. Н. Родионова. Выд. 23.06.2003.
10. Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести : ГОСТ 12038–84. Введ. 01.07.1986. М.: Изд-во стандартов, 1985.
11. TeKrony D. M. Seed Vigor Testing // J. Seed Technol. 1995. Vol. 8. P. 55–60.
12. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution № 32 to the Handbook of Seed Nesting // Association of Official Seed Analysts. New York, 2002.
13. Пушкина Н. В., Курченко В. П., Калацкая Ж. Н. Возможность использования электрофизических методов для оценки физиологического качества семян кукурузы // Вестн. БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2016. № 1. С. 26–30.
14. Гавриленко В. Ф., Ладыгина М. Е., Хандобина Л. М. Большой практикум по физиологии растений. М., 1975.
15. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1984.
16. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Минск, 1973.

References

1. Sazonova S. N., Mazets Z. E., Spiridovich E. V., et al. [The influence of electromagnetic and plasma effects on growth and development of *Calendula officinalis* L.]. *Vesci BDPU. Ser. 3, Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Bijalogija. Geografija*. 2012. No. 1. P. 3–10 (in Russ.).
2. Pushkina N. V., Mazets Z. E., Spiridovich E. V., et al. Peculiarities of presowing electromagnetic influence on individual physiological and biochemical processes of *Leonurus Cardiaca* (L.). *Vesci BDPU. Ser. 3, Fizika. Matematyka. Infarmatyka. Bijalogija. Geografija*. 2012. No. 3. P. 7–12 (in Russ.).
3. Fedorischenko M. G., Zholobova M. V. Presowing electromagnetic seed treatment as one of the safest and the most advanced environmental management techniques. *Problems of geology, planetology, geoecology and rational nature management* : sb. tezisov i statei Vseross. konf. (Novocherkassk, 26–28 Oct., 2011). Novocherkassk, 2011. P. 135–136 (in Russ.).
4. Shysh S. N., Shutava H. G., Mazets Z. E., et al. Effects of low intensity electromagnetic radiation and ultrasmall concentrations of exogenous aminolevulinic acid on selected physiological and biochemical processes in medicinal plants. *Slabye i sverkhslabye polya i izluchenia v biologii i medicine* : nauchn. tr. Mezhdunar. kongr. URL: www.biophys.ru/archive/congress2015.pdf#page=111 (date of access: 15.12.2016) (in Russ.).
5. Chernaya M. A., Kosulina N. G. [Biophysical analysis of the information electromagnetic field effect on biological objects]. URL: http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_142/32.pdf (date of access: 25.10.2016) (in Russ.).
6. Vavilov G. P., Balyshev L. N. [Field agricultural crops of the USSR]. Moscow, 1975 (in Russ.).
7. [Peculiarities of development and location of agriculture in the Republic of Belarus]. URL: <http://lektisii.org/8-23030.html> (date of access: 09.02.2017) (in Russ.).
8. [Belarus to cut crops under buckwheat on a half]. URL: <http://agro2b.ru/ru/analytics/31948-Belarus-vdvoe-sokratit-posevnye-pod-grechihoj.html> (date of access: 09.02.2016) (in Russ.).
9. Karpovich V. A., Rodionova V. H. [Method of presowing processing of seeds of vegetable or grain crops]. Patent No. 5580. 23.06.2003 (in Russ.).
10. Semena sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Metody opredeleniya vskhozhesti : GOST 12038–84. Vved. 01.07.1986. M.: Izdatel'stvo standartov, 1985.
11. TeKrony D. M. Seed Vigor Testing. *J. Seed Technol.* 1995. Vol. 8. P. 55–60.
12. Seed Vigor Testing Handbook. Contribution No. 32 to the Handbook of Seed Nesting. *Association of Official Seed Analysts*. New York, 2002.
13. Pushkina N. V., Kurchanka U. P., Kalatskaja J. N. The use of electrophysical methods for evaluating the physiological quality of corn seeds. *Vestnik BGU. Ser. 2, Khim. Biol. Geogr.* 2016. No. 1. P. 26–30 (in Russ.).
14. Gavrilenko V. F., Ladygina M. E., Handobina L. M. [A large workshop on plant physiology]. Moscow, 1975 (in Russ.).
15. Zaitsev G. N. [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, 1984 (in Russ.).
16. Rokitskii P. F. [Biological statistics]. Minsk, 1973 (in Russ.).