

## ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ. 1. ПЕРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И РАСТВОРЫ СОЛЕЙ

Донецкий физико-технический институт Национальной академии наук Украины,  
ул. Р.Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина, [disfleur76@live.fr](mailto:disfleur76@live.fr)

В последние десятилетия наблюдается увеличение антропогенного пресса на живые организмы и среду их обитания. Техногенное загрязнение состоит из физических и химических факторов. К физическим относится в первую очередь электромагнитный фон в широком диапазоне частот. К химическим – бытовые отходы (~1000 кг мусора в год на одного городского жителя) и промышленное загрязнение, включая отходы производств, связанных с использованием радиоактивных элементов.

Как правило, с позиций экологической безопасности влияние на живое каждого фактора или группы факторов оценивается обособленно. Вместе с тем в ряде работ показано, что эффект химических загрязнителей (тяжелых металлов) значительно модифицируется при действии их одновременно с электромагнитными полями ЭМП [1–4]. В то же время известно, что ионы, необходимые для жизнедеятельности, при их избыточном поступлении в организм оказывают столь же сильное негативное воздействие, как и токсины. Примером этому являются солончаки, на которых биологическое разнообразие ограничено единицами видов. Исследование эффектов физиологических ионов совместно с ЭМП – цель настоящей работы.

**Методика исследования.** Выборки семян ячменя *Hordeum vulgare* L. по 100 шт. каждая замачивали в 10% растворах хлоридов натрия, калия, кальция и сульфата магния в течение четырех часов. В каждом растворе одну выборку помещали в электромагнитное поле  $H=30$  Э с частотами  $f=1,5; 8; 16; 24; 32; 40$  и  $50$  Гц, вторую – контрольную – замачивали в растворе без полевого воздействия. Дополнительно на 14 выборках определяли влияние 4-часовой экспозиции семян в ЭМП при набухании в чистой воде и на восьми выборках – влияние растворов солей по сравнению с водой при  $H=0$ .

После окончания замачивания семена контрольных и опытных выборок промывали проточной водой и помещали в ростовую камеру. После семи дней проращивания определяли всхожесть в опыте  $n_0$  и контроле  $n_k$  и средние длины ростков  $l_0$  и  $l_k$ . Для графических построений использовали относительные значения всхожести  $N=n_0/n_k$  и длин ростков  $L=l_0/l_k$ .

**Результаты и обсуждение.** Как показала экспериментальная проверка, экспозиция в ЭМП в течение четырех часов при гидратировании семян в чистой воде дает при последующем проращивании нулевой эффект. Ростки семян, замоченных в растворах солей в отсутствие полевого воздействия, по всхожести также не отличаются от контрольных, а по средним длинам для солей калия, кальция, натрия и магния отстают от контрольных соответственно на 17, 19, 29 и 14%.

Полученные результаты говорят о том, что одноразовое кратковременное воздействие химическими лимитирующими факторами не представляет угрозы для жизни растений, но угнетает их осевой рост.

При действии ЭМП в период замачивания в растворах солей картина реакции растений резко меняется. Частотные зависимости влияния ЭМП на ростовые показатели ячменя, пророщенного из семян, набухавших в водных растворах хлоридов калия, натрия, кальция и сульфата магния, приведены на рис. 1. Во всех случаях получены сложные немонотонные зависимости  $L(f)$  и  $N(f)$ , а ростовые характеристики колеблются и в зависимости от частоты могут превышать контрольные значения, быть ниже или равными им.

Для КС1 всхожесть при  $f=1,5; 16$  и  $40$  Гц на 20–30% ниже контрольной, то есть действующий фактор из практически нейтрального преобразуется в лимитирующий. Очевидно, ЭМП на этих частотах усиливают проницаемость клеточных мембран и оказывают влияние на направленность биохимических реакций и, возможно, на их скорость. При  $f=24$  и  $50$  Гц всхожесть увеличивается, однако не превышает достоверно ее уровень, получаемый в случае набухания семян в чистой воде. Частоты

8 и 32 Гц в данном эксперименте нейтральны (рис. 1,а). Продольный рост стеблей в этом эксперименте при  $f=16$  и 24 Гц угнетался, а при 40 и 50 Гц – стимулировался. Здесь следует отметить, что увеличение  $l_{cp}$  на 65% сопровождалось снижением всхожести более чем на 30% ( $f=40$  Гц), а рост  $l_{cp}$  на 54% происходил при одновременном возрастании всхожести на 27% ( $f=50$  Гц). В данном случае на указанных частотах  $l_{cp}$  значительно превышает не только контрольные показатели, но и получаемые при замачивании в чистой воде (на 48 и 37%). Однако максимумы ростовых показателей в опытных выборках те же, что и в контрольных, но в то же время существенно ниже таковых, полученных из семян, замоченных в чистой воде.

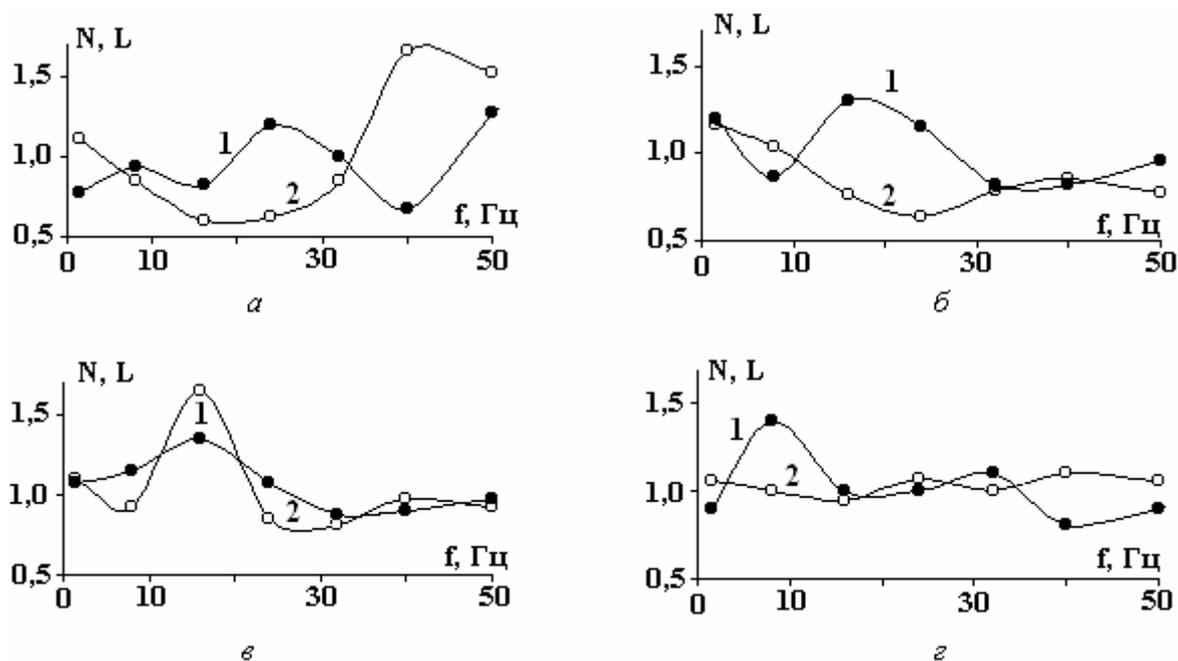


Рис. 1. Зависимости относительной всхожести  $N$  (1) и средних длин  $L$  (2) ростков после замачивания семян в растворах  $KCl$  (а),  $NaCl$  (б),  $CaCl_2$  (в),  $MgSO_4$  (г)

В менее выраженном виде противофазность показателей  $N$  и  $L$  наблюдается при  $f=1,5$  и 24 Гц. Приведенные для  $f=40$  Гц экспериментальные результаты можно интерпретировать с позиций внутривидовых индивидуальных различий. При попадании внутрь семян избыточных концентраций ионов  $K^+$  у способных к быстрому росту особей происходит также и быстрое уменьшение концентрации на единицу объема (или массы) всего организма. У медленно растущих избыточная концентрация сохраняется более длительное время, что приводит к гибели большинства из них. Данный вывод частично подтверждается сравнительным распределением ростков по интервалам длин, приведенным на рис. 2.

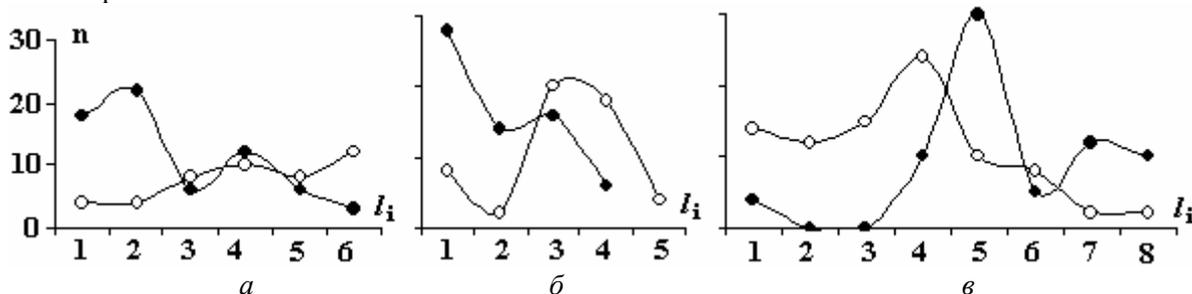


Рис. 2. Распределение ростков по интервалам длин  $l_i$  при замачивании в растворе  $KCl$  и полях с  $f=40$  (а), 50 (б) и 24 Гц (в). Здесь и далее на рис. 3–6 длины ростков в интервалах, мм: 1–10 (1), 11–20 (2), 21–30(3) и т.д.; ● – контроль, ○ – опыт

Как видим, в интервалах 1–10 и 11–20 мм доля ростков опытной выборки в несколько раз меньше, чем контрольной. Что касается действия частоты 50 Гц, где оба ростовые показателя выше контрольных, можно предположить, что здесь основную роль играет эффект блокирования проницаемости мембран для ионов  $K^+$ , и как результат – значительное сокращение его поступления внутрь клеток в сравнении со случаем, когда  $H=0$ . Обращает на себя внимание отличие в ходе контрольных

кривых распределений на рис. 2. Они находятся в противофазе. Однако учитывая, что здесь при  $f = 50$  Гц отсутствуют ростки, соответствующие  $l_i=5$  и 6, правильнее считать, что кривые распределения просто сдвинуты влево по отношению к распределению при  $f=40$  Гц. Именно подобного рода отличия контрольных показателей (на каждой частоте опыты проводили в разные дни) и обуславливают необходимость использования относительных единиц. Изменения контрольных значений от опыта к опыту вызваны какими-то третьими причинами – колебаниями температуры и освещенности, магнитными бурями, атмосферным электричеством и т.д. Как бы ни изменялась максимальная длина ростков, в опыте и контроле занятыми практически всегда оказываются все интервалы. Третий из наблюдаемых эффектов касается  $f=24$  Гц, носит обратный по отношению к первому ( $f=40$  Гц) характер. Причиной инверсии может быть как относительное увеличение концентрации ионов калия внутри клеток, так и индуцированное полем изменение хода биохимических процессов. Этот вопрос пока остается открытым, как, впрочем, и для двух предыдущих случаев ( $f = 40$  и  $50$  Гц). Контрольные показатели в опыте с  $f=24$  Гц также отличаются от предыдущих, но, исходя из увеличения количества ростовых интервалов, можно говорить о сдвиге кривой распределения вправо на 3 интервала по сравнению с опытом при  $f=40$  Гц. Распределения контрольных ростков по длинам в интервалах 2–5 для  $f = 40$  Гц, 1–4 – для 50 Гц и 5–8 – для 24 Гц качественно не отличаются между собой (рис. 2).

При сравнении распределения опытных ростков в этих же интервалах подобное сходство не наблюдается. При замачивании семян в растворе NaCl и одновременном действии ЭМП зависимости  $N(f)$  и  $L(f)$  имеют качественное сходство с аналогичными для раствора KCl (сравните рис. 1, а и б), но отличаются по интенсивности, особенно на частотах 40 и 50 Гц. Противофазность отношений  $N(f)$  и  $L(f)$  здесь так же трудно объяснить, как и в случае замачивания семян в растворе KCl. Распределения длин ростков по интервалам  $l_i$  при  $f=16$  и 24 Гц имеют определенное качественное сходство: в коротких и средних интервалах количественно преобладают опытные ростки, в интервалах максимальных длин – наоборот, контрольные (рис. 3). Однако отличия между данными распределениями ростков по  $l_i$  в экспериментах с хлоридами натрия и калия в условиях действия  $H_A$  с  $f=24$  Гц исключают возможность единого механизма реагирования растения на одновременное действие магнитного поля и ионов  $K^+$  в одном случае и поля и ионов  $Na^+$  – в другом.

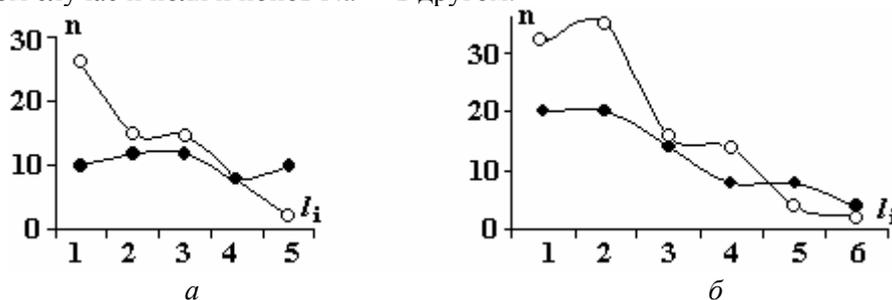


Рис. 3. Распределение  $n$  по  $l_i$  при замачивании в р-ре NaCl и полях с  $f=24$  (а) и 16 Гц (б)

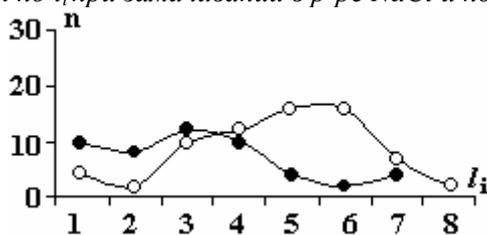


Рис. 4. Распределение  $n$  по  $l_i$  при замачивании в р-ре  $CaCl_2$  и поле с  $f= 16$  Гц

Наиболее простые и синфазные зависимости ростовых показателей от частоты действовавшего в период замачивания семян магнитного поля получены при использовании раствора  $CaCl_2$  (рис. 1, в). Здесь наиболее эффективна частота 16 Гц, на которой действие ЭМП явно приводит к блокированию поступления избытка ионов  $Ca^{++}$  в организм. Этот вывод подтверждается также и количественным распределением ростков по длинам (рис. 4). В контроле количественно преобладают короткие ростки, а в опыте – длинные.

Использование для замачивания раствора  $MgSO_4$  при  $f=8$  Гц дает увеличение всхожести на 40%, а при 40 Гц снижение на 20%. На остальных частотах эффект либо нулевой (16 и 24 Гц), либо статистически не достоверный (32 и 50 Гц). Также не достоверны и изменения  $L$  во всем диапазоне исследованных частот (рис. 1, г). Поле с  $f = 8$  Гц, очевидно, блокирует поступление ионов  $Mg^{++}$  в зерновку; в контроле и опыте максимальное количество ростков приходится на интервал 2 (рис. 5). Объяснить снижение  $N$  при  $f=40$  Гц с позиций усиления проникновения магния внутрь семян не пред-

ставляется возможным, так как при этом в опыте максимум  $n$ , оставаясь довольно высоким, смещается на один интервал влево, в сторону меньших длин ростков.

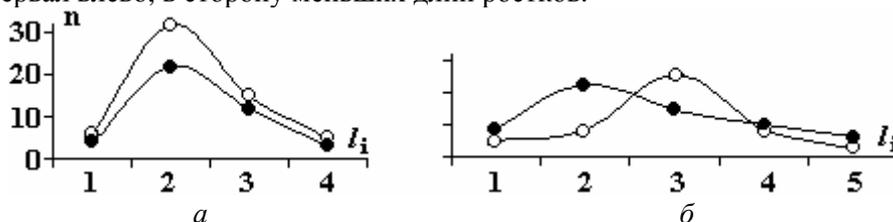


Рис. 5. Распределение  $n$  по  $l_i$  при замачивании в р-ре  $MgSO_4$  и полях  $f=8$  (а) и 40 Гц (б)

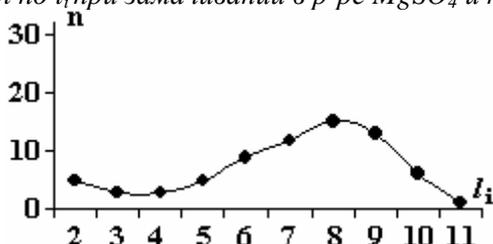


Рис. 6. Распределение  $n$  по  $l_i$  при замачивании семян в воде

На рис. 6. показано количественное распределение ростков по интервалам длин, полученное при проращивании семян в чистой воде. Как было сказано выше, одноразовая четырехчасовая экспозиция в ЭМП в этих условиях эффекта не дает. Отсутствие солей, подавляющих рост, приводит к общему увеличению средних длин ростков, максимальные размеры которых превышают 120 мм, а наибольшее количество ростков приходится на интервалы 7–9 ( $\Sigma=45$  штук). Из сравнения рис. 2, 3, 4, 5 и б видно, что частоты ЭМП, стимулирующие рост, не приводят к компенсации негативного воздействия избытка солей в начальный период набухания семян.

#### Выводы

В условиях нестабильности электромагнитной обстановки изменяется усваиваемость металлов (К, Na, Ca, Mg) семенами в процессе набухания.

Эффективность сочетанного воздействия химических веществ и ЭМП максимальна для калия и минимальна для магния.

Направленность биологического действия ЭМП зависит от частоты поля: накопление химических веществ может возрастать, снижаться или оставаться неизменным.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Хиженьков П.К., Добрица Н.В., Нецветов М.В. Сочетанное действие переменных магнитных полей и некоторых химических веществ на проращивание ячменя // Электронная обработка материалов. 2004. № 4. С. 83–86.
2. Хиженьков П.К., Александрова Н.В., Нецветов М.В. Проницаемость мембран клеток семян растений для ионов тяжелых металлов в условиях действия переменных магнитных полей // Доп. НАН України. 1999. № 8. С. 166–169.
3. Хиженьков П.К., Добрица Н.В., Нецветов М.В., Дрибан В.М. Влияние низко- и сверхнизкочастотных переменных магнитных полей на ионную проницаемость клеточных мембран // Доп. НАН України. 2001. № 4. С. 161–164.
4. Хиженьков П.К., Нецветов М.В., Кисляк Т.П., Добрица Н.В. Изменение проницаемости клеток семян ячменя для отрицательных органических ионов в зависимости от частоты действующего переменного магнитного поля // Доп. НАН України. 2001. № 3. С. 179–180.

Поступила 21.11.08

#### Summary

In this paper there are treating barley seeds by electromagnetic field (EMF) simultaneously with potassium, calcium, sodium solutions. The acrospires grows depend on frequency of electromagnetic field. Among all treatments combinations the potassium and maximum biological effect EMF and potassium solution have a maximal biological effect.