

П. К. Хиженков, Н. В. Добрица, М. В. Нецветов

**ОСОБЕННОСТИ РОСТА HORDEUM VULGARE L.
НА ЗАСОЛЕННЫХ СУБСТРАТАХ
В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

П. К. Хиженков, Н. В. Добрица, М. В. Нецветов

Донецкий национальный университет

**ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ HORDEUM VULGARE L. НА ЗАСОЛЕНИХ СУБСТРАТАХ
В УМОВАХ ДІЇ ЗМІННИХ МАГНІТНИХ ПОЛІВ**

Досліджено вплив підвищених концентрацій свинцю та гумату калію на ріст ячменю при одночасній дії змінного магнітного поля (ЗМП). Показано, що при наявності в субстраті свинцю і дії ЗМП з частотами $f = 1,5; 8$ і 50 Гц схожість насіння падає до $0-30\%$, середні довжини ростків (l) при $f = 8, 32, 40$ і 50 Гц зменшуються до $0-70\%$ від контрольних значень (ЗМП = 0). При наявності розчину гумату калію і дії ЗМП зниження n виявлено при $f = 1,5; 32$ і 40 Гц, а при $f = 8$ та 50 Гц схожість насіння зростає. Показник l при $f = 1,5$ та 8 Гц зростає, а інші частоти не ефективні.

Ключові слова: ячмінь, свинець, гумат, магнітне поле.

P. K. Khizhenkov, N. V. Dobritsa, M. V. Netsvetov

Donetsk National University

**GROWS CHARACTERISTICS OF HORDEUM VULGARE L.
ON SALT SUBSTRATE IN CONDITIONS OF ALTERNATING MAGNETIC FIELDS ACTION**

They studied the influence of elevated concentration of lead and potassium humate on growth of barley in conditions of synchronizing action of alternating magnetic field (HA). They showed that substratum with lead and action of HA with frequencies $f = 1,5; 8$ and 50 Hz caused decreasing of germinating capacity for $0-30\%$, and the average length of acrospire (l) decreased for $0-70\%$ from control value (HA = 0), if $f = 8, 32, 40, 50$ Hz. The average acrospire length increases if $f = 1,5$ and 8 Hz, other frequencies are not efficacious.

Keywords: barley, lead, humate, magnetic field.

Електромагнітна екологія як розділ факторіальної екології розробтан в нинішнє час тільки поверхносно, незважаючи на глобальну розповсюдженість електромагнітних полів (ЕМП) в біосфері. Також недостатньо досліджено взаємодія ЕМП з іншими екологічними факторами, в першу чергу хімічними.

Специфика факторіальної екології не завжди дає можливість отримання достатньої інформації в природній середі, що робить необхідним перенесення досліджень в лабораторію. Дане обставина накладає певні обмеження на вибір об'єкта досліджень. Огляд роботи в експериментальній екології (як наш, так і інших дослідників) дає підстави вважати, що одним з найбільш зручних об'єктів є рослини (Хиженков і др., 1999; Вплив ..., 2001; Зміна ..., 2001; Аксенов і др., 2001; Белова, Леднев, 2001).

Находясь в основанні трофічних ланцюгів, рослини накопичують з ґрунту хімічні речовини, як корисні, так і шкідливі, таким чином, визначають рівень їх споживання консументами різних порядків. Одним з наслідків антропогенного впливу на екосистему є значне (вплоть до декількох порядків) збільшення концентрацій токсичних речовин, наприклад сполучень свинцю (Головкова і др., 1993; Никифорова, 1976; Курапова, 1986) в ґрунті, воді і атмосфері.

Все вышесказанное свидетельствует об актуальности проведения всесторонних исследований в данной области факториальной экологии.

Ранее было показано, что переменное магнитное поле (ПеМП) напряженностью ~ 60 Э и частотой $f = 50$ Гц, действующее в период замачивания семян в концентрированных растворах хлорида бария и нитрата свинца, приводит к угнетению последующего роста растений в химически и физически «чистых» условиях (Хиженков и др., 1999). Аналогичные эксперименты проведены на различных частотах ПеМП ($f = 1,5; 8; 24$ и 50 Гц) (Влияние ..., 2001). Показано, что ростовые показатели (всхожесть и средняя длина ростков) при $f = 1,5$ и 8 Гц уменьшаются, затем (24 Гц) возрастают и вновь уменьшаются (50 Гц). В этой же работе ростовые показатели сравнивали с количеством поглощенного семенами свинца, которое определяли атомно-абсорбционным методом. Выявлена четкая противофазная частотная зависимость ростовых и концентрационных показателей – чем выше концентрация свинца, тем ниже ростовые показатели. Исследовали также влияние этих же частот на ростовые показатели при замачивании семян в растворе стимулятора роста – гумата натрия (Изменение ..., 2001). Здесь полученная частотная зависимость оказалась зеркально-симметричной по отношению к таковой для солей тяжелых металлов.

Исследователями отмечено, что одноразовые кратковременные экспозиции в период набухания при изолированном действии одного из факторов, химического или физического, статистически значимого эффекта не давали; последний наблюдался только при сочетанном действии обоих факторов (Хиженков и др., 1999; Влияние ..., 2001; Изменение ..., 2001). В связи с этим представляет интерес проследить, как повлияет химическая и физическая нагрузка не только в период набухания, но и последующего роста растения.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объекта исследований использовали *Hordeum vulgare L.* – вид, занимающий одно из ведущих мест в валовом производстве зерна. Следует также отметить, что в случаях расположения сельскохозяйственных угодий вблизи оживленных автомагистралей или предприятий цветной металлургии концентрация свинца в зернах и зеленой массе может превышать нормальную в 8 и более раз (Никифорова, 1976). Исходя из полученных нами ранее результатов (Влияние ..., 2001) по сравнению ростовых показателей с концентрацией свинца, накопленного в зернах в период набухания семян, выбран сорт «Прерия».

Известно также, что основным посредником, обеспечивающим биологические эффекты от колебаний солнечной активности, является геомагнитное поле (ГМП) (Владимирский, 1984), а один из универсальных механизмов передачи информации от ГМП к организму – это изменение проницаемости клеточных мембран для ионов металлов и других веществ (Казначеев, Михайлова, 1985).

В наших экспериментах предварительно была определена докритическая концентрация уксуснокислого свинца в субстрате, при которой около половины семян сохраняли жизнеспособность. Она оказалась равной 1,5 %, при этом всхожесть составила 50–60 %, а средние длины – 30 % от контроля. Стимулятор роста – гумат калия – брали в концентрации, предназначенной для полива согласно инструкции выпускающего предприятия. Выборки семян по 100 шт. помещали в цилиндрические пластиковые контейнеры диаметром 100 и высотой 120 мм, снабженные негерметичными крышками. Субстратом служила уложенная в четыре слоя на дне контейнера фильтровальная бумага, которая ежедневно увлажнялась поливными растворами в строго одинаковых количествах – по 5 мл. Длительность эксперимента для каждой частоты 6 суток, ежедневная экспозиция опытных выборок в ПеМП – 3 часа. Рабочие частоты – 1,5; 8; 16; 24; 32; 40 и 50 Гц – задавали с помощью генератора Г6-27, снабженного низкочастотным усилителем. Опытные выборки на время экспозиции помещали внутрь соленоида; контрольные все время оставались вне действия ПеМП. Основной эксперимент состоял из трех серий.

1. Определяли эффективность изолированного действия ПеМП на растения, при этом субстрат увлажняли чистой водой.

2. Определяли действие ПеМП на растения, субстрат для которых увлажняли раствором уксуснокислого свинца.

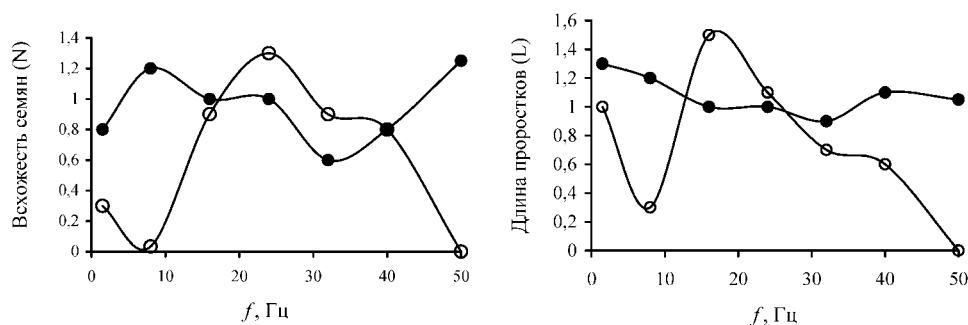
3. Определяли эффективность ПеМП при поливе субстрата раствором гумата калия.

По окончании эксперимента определяли всхожесть n и средние длины ростков $l_{\text{ср.}}$. Для графических построений использовали относительные показатели всхожести $N = n_{\text{опыт}}/n_{\text{контр.}}$ и длин ростков $L = l_{\text{ср. опыт}}/l_{\text{ср. контр.}}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Комплексное воздействие химических нагрузок и ПеМП по своей эффективности в корне отличается от действительности каждого фактора в отдельности, оно приводит к появлению сложных немонотонных зависимостей абсолютных и относительных величин ростовых показателей от частоты ПеМП.

При поливе растений 1,5 %-ным раствором уксуснокислого свинца и одно-временной экспозиции в поле наблюдалось достоверное ($p < 0,001$) угнетение всхожести при частотах полевого воздействия 1,5 Гц (30 % от контроля), 8 Гц (2 %) и 50 Гц (0 %). Частоты 16, 32 и 40 Гц не эффективны и по данному показателю могут быть оценены как нейтральные. При $f = 24$ Гц всхожесть превышает контрольные значения на 30 % ($p < 0,05$) (рисунок, а).



Частотные зависимости относительной всхожести (а) и относительных средних длин проростков ячменя (б) при действии ПеМП в комплексе с 1,5 %-ным раствором уксуснокислого свинца (-○-) и раствором гумата калия (-●-)

Полив растений раствором гумата калия в условиях действия ПеМП на частотах 1,5 и 40 Гц снижает всхожесть на 20 % ($p < 0,05$), а при 32 Гц – на 40 % ($p < 0,01$). Эффективность полевого воздействия с $f = 16$ и 24 Гц равна нулю, а при 8 и 50 Гц показатель всхожести превышает контрольные значения на 20 и 25 % соответственно ($p < 0,05$) (рисунок, а).

На рисунке (б) показаны частотные зависимости относительных средних длин ростков $L(f)$. При использовании для полива раствора соли свинца статистически достоверное угнетение роста наблюдалось при $f = 8$ ($p < 0,001$), 32 ($p < 0,01$), 40 ($p < 0,01$) и 50 Гц ($p < 0,001$), а стимуляция – при 16 Гц ($p < 0,01$). Частоты 1,5 и 24 Гц для показателя L нейтральны. В случае использования гумата калия увеличение L наблюдается только при $f = 1,5$ и 8 Гц ($p < 0,05$), все остальные частоты нейтральны.

Пытаясь дать оценку возможных механизмов воздействия ПеМП на живые организмы, следует отметить, что в основе их лежат первичные физико-химические эффекты. При изучении биологического действия ПеМП в качестве основных механизмов рассматриваются следующие. Силы Лоренца, т. е. изменение траектории движущегося в поле заряда; смещение или вращение частиц, имеющих собственный

магнитный момент; поляризация электронов и ядер, приводящая к изменению радикальных химических реакций; наведенная полем ЭДС индукции; изменение структуры воды и, следовательно, ее биологических свойств (Кузьмичев, 1989; Плеханов, 1984; Понамарев, Фесенко, 2000; Холодов, 1982; К механизму действия ..., 1998).

Наличие множества первичных физико-химических механизмов позволяет только предполагать определенные реакции со стороны биологических систем, но не может ни предсказать, ни объяснить их. Это связано с тем, что между первичным воздействием ПеМП на вещество или на элементы живой системы и реакцией организма как целого имеется множество промежуточных звеньев, большинство из которых до настоящего времени не известно. Многие из этих звеньев охвачены взаимопереплетающимися прямыми и обратными связями, в результате чего при одном и том же первичном эффекте на разных уровнях регистрации биологического проявления может отмечаться или его усиление, или угнетение, или же отсутствие всякого изменения (Плеханов, 1984).

При действии на биосистемы ПеМП острорезонансных по частоте пиков не наблюдается. При этом на отдельных участках частотного диапазона ПеМП величина (а иногда и знак) ответной реакции биосистемы заметно отличается от соседних участков.

Длительное воздействие ПеМП на организм приводит к процессам адаптации и кумуляции, наблюдающимся параллельно. При этом величина отклонений по отдельным признакам уменьшается и постепенно достигает фоновых значений, а общее состояние организма переходит на уровень большей чувствительности к воздействию любых других факторов (Плеханов, 1984). Чувствительность био-объектов к ПеМП зависит от исходного состояния организма: ослабленные или больные организмы более чувствительны (Соколовский, Павлова, Музалевская, 1982; Чижевский, 1995); при этом не выявлено минимальной пороговой амплитуды воздействия (Узденский, 2000). Данные особенности эффективности ПеМП определяются исключительной гетерогенностью биологических объектов, их принципиальной нелинейностью, которая является следствием удаленности от термодинамического равновесия и обуславливает нелинейный отклик системы на внешние воздействия (Модель отклика ..., 1993).

ВЫВОДЫ

В условиях электромагнитного загрязнения на определенных частотах повышается чувствительность ячменя к действию различных факторов, как естественного, так и антропогенного происхождения, в частности, к повышенному уровню химического загрязнения.

Эффективность сочетанного воздействия ПеМП и химических веществ в наибольшей степени выражен для сильных ядов, например водорастворимых соединений свинца.

Направленность биологического действия ПеМП в условиях засоления субстрата зависит от частоты поля. Накопление и усвоение химических веществ семенами и ростками ячменя может возрастать, снижаться или оставаться неизменным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Хиженок П. К., Александрова Н. В., Нецветов М. В. Проницаемость мембран клеток семян растений для ионов тяжелых металлов в условиях действия переменных магнитных полей // Доп. НАНУ. – 1999. – № 8. – С. 166-169.

Влияние низко- и сверхнизкочастотных переменных магнитных полей на ионную проницаемость клеточных мембран / П. К. Хиженок, Н. В. Добрица, М. В. Нецветов, В. М. Дрибан // Доп. НАНУ. – 2001. – № 4. – С. 161-164.

Изменение проницаемости мембран клеток семян ячменя для отрицательных органических ионов в зависимости от частоты действующего переменного магнитного поля / П. К. Хиженок, М. В. Нецветов, Т. П. Кисляк, Н. В. Добрица // Доп. НАНУ. – 2001. – № 3. – С. 179 -180.

- Аксенов С. И., Грунина Т. Ю., Горячев С. Н. Особенности влияния низкочастотного магнитного поля на набухание семян пшеницы на различных стадиях // Биофизика. – 2001. – Т. 46, вып. 6. – С. 1127-1132.
- Белова Н. А., Леднев В. В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на гравитропизм растений // Биофизика. – 2001. – Т. 46, вып. 1. – С. 122–125.
- Головкова Н. П., Шамарин В. Н., Муравьева Г. В. Гигиеническая оценка воздушной среды при эксплуатации автомобилей на сжиженном нефтяном газе // Гигиена и санитария. – 1993. – № 1. – С. 15-16.
- Никифорова Е. М. Тяжелые металлы вредят биосфере // Химия и жизнь. – 1976. – № 1. – С. 34-37.
- Курапова Е. Дорога – экологический барьер // Химия и жизнь. – 1986. – № 9. – С. 43-45
- Владимирский Б. М. О возможных геофизических механизмах влияния солнечной активности на организм // Электромагнитные поля в биосфере. Т. 1. Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение. – М.: Наука, 1984. – С. 141-150.
- Казначеев В. П., Михайлова Л. П. Бионформационная функция естественных электромагнитных полей. – Новосибирск: Наука, 1985. – 180 с.
- Кузьмичев В. Е. Законы и формулы физики. – К.: Наук. думка, 1989. – 864 с.
- Плеханов Г. Ф. Три уровня механизмов биологического действия низкочастотных электромагнитных полей // Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы. – Томск, 1984. – С. 3-8.
- Понамарев О. А., Фесенко Е. Е. Свойства жидкой воды в электрических и магнитных полях // Биофизика. – 2000. – Т. 45, вып. 3. – С. 389-398.
- Холодов Ю. А. Мозг в электромагнитных полях. – М.: Наука, 1982. – 121 с.
- К механизму действия переменных магнитных полей на живые организмы / П. К. Хиженок, И. М. Макмак, Г. И. Миронова, В. Н. Свирчков // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 1998. – Т. 7. – № 2. – С. 148-150.
- Соколовский В. В., Павлова Р. Н., Музалевская Н. И. Моделирование нарушений гомеостаза при изучении биологических эффектов слабого низкочастотного магнитного поля // Всесоюз. симп. «Биологическое действие электромагнитных полей». – Пушкино, 1982. – С. 57-58.
- Чижевский А. Л. Об одном виде специфически биоактивного или Z-излучения Солнца // Космический пульс жизни. – М.: Мысль, 1995. – С. 725-738.
- Узденский А. Б. О биологическом действии сверхнизкочастотных магнитных полей: резонансные механизмы и их реализация в клетках // Биофизика. – 2000. – Т. 45, вып. 5. – С. 888-893.
- Модель отклика мембранной транспортной системы на переменное электрическое поле / Г. Ю. Ризниченко, Т. Ю. Плюсина, Т. Н. Воробьева и др. // Биофизика. – 1993. – Т. 38, вып. 4. – С. 667-671.

Надійшла до редколегії 15.05.04