
ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

ВЛИЯНИЕ НИЗКОИНТЕНСИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РОСТОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАСТЕНИЙ. 2. ПЕРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ТОКИ И ИОНЫ Pb^{++}

П.К. Хиженков*, М.В. Нецветов**, Л.К. Панченко*, В.В. Сироткин*

*Донецкий физико-технический институт Национальной академии наук Украины,
ул. Р. Люксембург, 72, г. Донецк, 83114, Украина

**Донецкий ботанический сад Национальной академии наук Украины,
пр. Ильича, 110, г. Донецк, 83059, Украина, disfleur76@live.fr

Электрические токи широко распространены в природе, вблизи и на территориях промышленных предприятий, на электротранспорте и являются одним из важных физических факторов, действующих на живые организмы [1, 2]. Электрические явления естественного происхождения, влиянию которых постоянно подвержены живые организмы, вызываются различными геологическими и геофизическими явлениями, например сейсмoeлектрическими эффектами [3], ионным составом атмосферы [4], грозowymi разрядами и др. Существование этих экологических факторов на протяжении всей эволюции живого и связь с другими абиотическими факторами способствовали выработке у организмов структур для приспособления не только к их действию, но и к их использованию как носителей определенной информации об изменениях в среде обитания. Проводимые исследования подобных реакций в большей степени относятся к животным и лишь единичные работы посвящены растениям.

Тем не менее сейчас совершенно ясно, что действие на развивающийся растительный организм электрических токов с параметрами, при которых в контролируемых лабораторных условиях они не вызывают заметных сдвигов ростовых показателей, становится наиболее выраженным при наличии дополнительных лимитирующих факторов, например солей тяжелых металлов [5, 6]. Так, при действии электрического тока на зерновки ячменя или пшеницы, замачиваемые в растворе водорастворимых солей тяжелых металлов, существенно изменяются всхожесть, средние длины проростков и содержание в них этих металлов по сравнению с контрольными опытами. При этом различные значения параметров физического фактора (например, частоты) могут иметь разнонаправленный эффект.

Подобные исследования представляют не только самостоятельный интерес. Отмеченные выше свойства электрических токов дают основание предположить возможность их применения с целью биологической «очистки» загрязненных почв путем усиления накопления растениями тяжелых металлов. С этих позиций электрические токи наиболее перспективны, так как их генерирование в полевых условиях на достаточно большой площади технически наименее сложно. При этом необходимо проведение исследований биологической активности электрических токов не только во время набухания семян, но и в последующие периоды вегетации, и не только на примере ячменя, но и растений, набирающих большую массу за полевой сезон. В связи со сказанным выше цель настоящей работы – выяснение особенностей реагирования ячменя, кукурузы и подсолнечника на воздействие электрических токов при наличии свинцового загрязнения среды.

Методика исследования. В экспериментах контрольные и опытные выборки ($n = 50$ шт. для каждой) зерновок ячменя и кукурузы и семян подсолнечника 8 часов замачивали в 1% растворе уксуснокислого свинца, который также использовали для полива при дальнейшем проращивании семян. Семена опытных выборок подвергали ежедневно действию низкочастотного переменного электрического тока 7 суток по 7–8 часов ежедневно. Обработку электрическим током осуществляли путем подачи напряжения на неполяризующиеся электроды, расположенные в основании ростовой камеры. Подаваемое напряжение регулировали таким образом, чтобы сила тока оставалась в пределах 10–20 мА. После завершения эксперимента подсчитывали количество проростков n и измеряли их длины l , полученные данные усредняли (n_{cp} , l_{cp}) и относили к контрольным.

Так как эксперименты проводились в течение довольно длительного времени, а также для удобства сравнения, результаты, полученные в опытных выборках, относили к контрольным. Далее, как в части 1 этой работы [7], оценивали количественное распределение ростков по интервалам длин.

На произвольно выбранной частоте ($f = 16$ Гц) была проведена сравнительная оценка длин ростков кукурузы и подсолнечника с их электрическими характеристиками, об изменении которых судили по измеряемым токам проводимости I ростков. Для кукурузы дополнительно регистрировали I зерновок. Измерения проводили с помощью двух игольчатых электродов длиной 0,5 мм, неподвижно зафиксированных в пластмассовом корпусе на расстоянии 2 мм. На электроды подавалась разность потенциалов $V = 1,5$ В, токи проводимости регистрировали микроамперметром.

Результаты и обсуждение. Как видно из рис. 1, электрические токи оказывают неоднозначное влияние на ростовые показатели семян ячменя, кукурузы и подсолнечника. По всхожести наиболее реактивными оказались зерновки ячменя: при частотах 8 и 50 Гц N возросло более чем 1,4 раза, а при частоте 32 Гц значительно снизилось (рис. 1,а). Всхожесть кукурузы при действии тока разных частот изменялась незначительно (рис. 1,б). А у подсолнечника N увеличивалось в 1,2 раза при частоте 8 Гц и уменьшалось в 0,5 раза при частоте 24 Гц (рис. 1,в). Изменение средних длин проростков в выборках опытных семян всех видов в целом схожие – влияние электрического тока на всех частотах выразилось в значительном ($p > 0,99$) снижении относительных показателей L (рис. 1), за исключением частот 10^{-3} и 40 Гц для кукурузы, при которых эффекта не было.

На рис. 2 показано распределение проростков в поле средних длин и всхожести для всех исследованных частот. Обращает на себя внимание характерная вариация внутривидовых ростовых показателей, полученных в контроле и на разных частотах в опыте. Причина этого несовпадения не ясна и, возможно, зависит от не учитываемых факторов среды, меняющихся во времени, например температуры, влажности, освещенности, ионизации воздуха и др. Подобные колебания ростовых показателей наблюдались также в работе [8]. Отличие в значениях всхожести и средних длин ростков обусловлены, как правило, сдвигом количества ростков в определенном интервале длин в опыте относительно контроля либо расхождением в абсолютных значениях всхожести. Тем не менее, принимая контрольные показатели как нормальную реакцию на действие ионов свинца, по виду распределений на рис. 2 можно заключить, что действие тока приводит главным образом к снижению длин проростков.

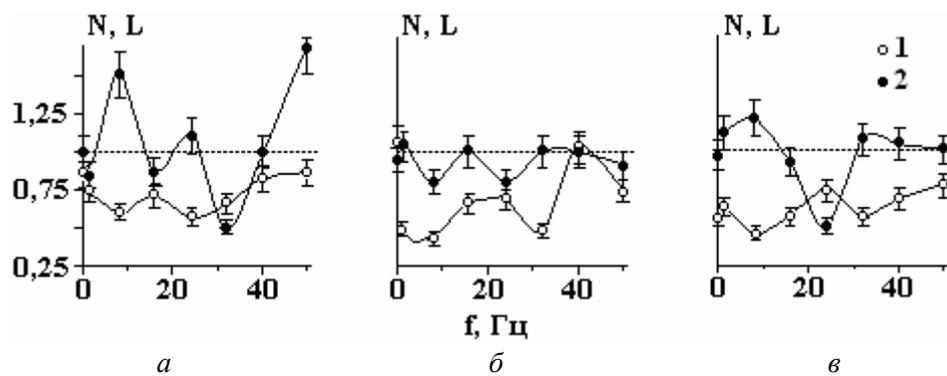


Рис. 1. Зависимость относительных длин L (1) и всхожести N (2) от частоты переменного тока f в опытных группах ячменя (а), кукурузы (б) и подсолнечника (в)

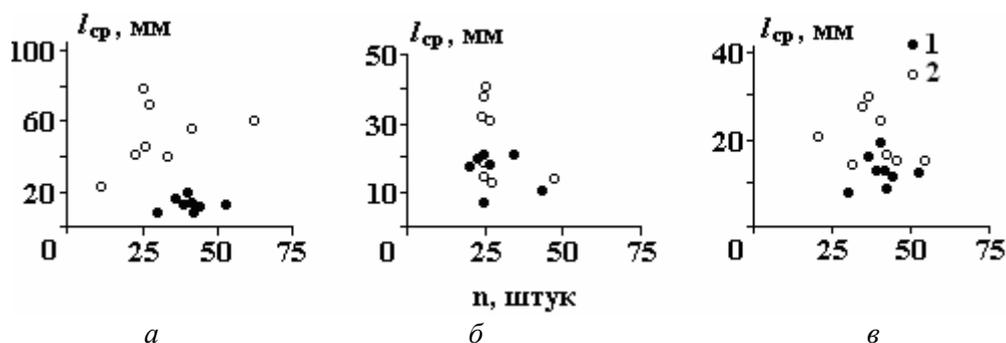


Рис. 2. Распределение проростков ячменя (а), кукурузы (б) и подсолнечника (в) в поле средних длин l_{cp} и всхожести n в опытных (1) и контрольных (2) группах

Токовые характеристики ростков и зерновок кукурузы, измеренные в контрольных и опытных группах ($f = 16$ Гц), приведены на рис. 3. На этой частоте при практически одинаковой всхожести средние длины в опыте достоверно уменьшаются: в контроле $l_{cp} = 31$ мм, в опыте $l_{cp} = 21$ мм, то есть $\Delta l_{cp} = 32\%$. На этом фоне токовые характеристики зерновок в контроле ($I = 16,8$ мкА) и опыте ($I = 25,1$ мкА) отличаются на 49%, стеблей (контроль $I = 32,2$ мкА; опыт $I = 36,2$ мкА) – на 12%. Существенное уменьшение длин ростков l_{cp} при одновременном увеличении токовых характеристик I в опыте по сравнению с контролем обусловлено увеличением накопления ионов свинца. Это накопление наиболее выражено в зерновках. В то же время внутри опытной и контрольной выборок зависимости токовых характеристик от длин ростков не наблюдается.

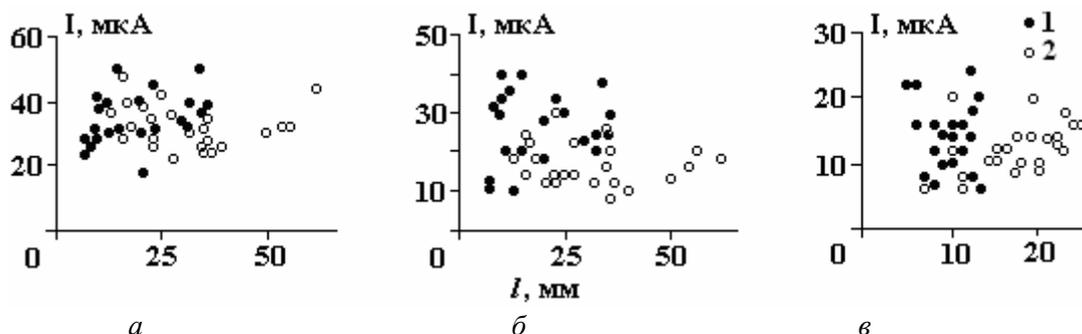


Рис. 3. Распределение проростков кукурузы (а, б) и подсолнечника (в) в поле средних значений длин проростков l_{cp} и силы тока I в стебле (а, в) и зерновках (б) в опытных (1) и контрольных (2) группах

Результаты аналогичных измерений и сопоставлений для ростков подсолнечника приведены на рис. 3,в. Длины ростков в опыте ($l_{cp} = 13$ мм) меньше контрольных значений ($l_{cp} = 23$ мм) на 43%, а токи проводимости выше на 17%. Обращает на себя внимание качественное сходство соотношений, приведенных на рис. 3, но сравнение количественных показателей свидетельствует о том, что накопление ионов свинца оказывает большее влияние на изменения ростовых показателей подсолнечника, при этом изменения токовых характеристик стеблей у подсолнечника также носят существенно более выраженный характер, что, очевидно, связано с такими же существенными различиями в морфологических, физиологических и биохимических характеристиках кукурузы и подсолнечника. Что же касается отличий в токовых характеристиках зерновок и стеблей кукурузы, то они вполне могут быть объяснены тем, что процесс накопления ионов зерновками происходит только в период набухания, то есть в течение примерно одних суток, а стеблями – в течение всего эксперимента (7 суток). Для окончательной верификации полученных результатов необходимо дальнейшее проведение исследований.

Выводы

В результате проведенных исследований есть основание утверждать, что под влиянием переменных электрических токов определенных частот происходит изменение накопления ионов свинца семенами и проростками растений. Эти изменения могут носить разнонаправленный характер при различных частотах действующего физического фактора, а сами частотные зависимости отличаются для растений разных видов с разным относительным содержанием углеводов и жиров и отличиями в физиологических механизмах прорастания. Существенное влияние эффективности действия электрического тока на растения оказывает внутривидовое разнообразие организмов. Максимальное снижение длин ростков ячменя происходит на частотах 1, 8, 16, 24, 32 Гц; у ростков кукурузы 1, 8, 16, 24, 32, 50 Гц; у ростков подсолнечника – на всех исследованных частотах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасов В.Р., Бондарчук А.И., Ольшанский В.М. *Введение в электроэкологию*. М.: Наука, 1982.
2. Манойлов В.Е. *Электричество и человек*. Л.: Энергия, 1975.
3. Черняк Г.Я. О прямом и обратном сейсмоэлектрическом эффектах в осадочных породах при синусоидальном возбуждении. *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1975, (7), 117–121.
4. Пресман А. С. *Электромагнитная сигнализация в живой природе (факты, гипотезы, пути исследования)*. М.: Сов. радио, 1974.
5. Хиженков П.К., Кузик А.В., Нецветов М.В., Добрица Н.И. Ионифоретическая активность низко- и сверхнизкочастотных электрических токов. *Доп. НАНУ*. 2001, (5), 165–167.
6. Кузик А.В., Хиженков П.К. Ионифоретическая активность низко- и сверхнизкочастотных электрических токов механических колебаний. *Праці наукової конференції Донецького національного універ-*

ситету за підсумками науково-дослідної роботи за період 1999–2000 рр. (Секція біологічних наук). Донецьк, 2001, 61–65.

7. Khizhenkov P.K. and Netsvetov M.V. Influence of low-intensity physical factors on plant growth indices: 1. Alternating magnetic fields and salt solutions. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2009, **45**(2), 153–156.

8. Добрица Н.В., Лиханов А.Ф., Кузик А.В. Ритмика ростовых показателей растений и солнечная активность. *Праці наукової конференції Донецького національного університету за підсумками науково-дослідної роботи за період 1999–2000 рр. (Секція біологічних наук)*. Донецьк: 2001, 78–83.

Поступила 02.09.10

После доработки 07.10.10

Summary

The growth indices (germination and mean length) of barley, maize and sunflower under treatment of low frequency alternating current and leads solution were studied in this paper. It is shown the mean length of seedlings dependence on frequency is nonmonotonic. The effect of current on mean length was little or negative. Decreasing of men length in experimental groups was attended by growing of conductivity currents.
