

УДК 573.6: 537.86

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА РАСТЕНИЯ

Богатина Н.И.¹, Шейкина Н.В.²

¹*Физико-технический институт низких температур НАН Украины, Харьков, Украина*

²*Национальный фармацевтический университет, Харьков, Украина*

E-mail: n_bogatina@rambler.ru

Представлен обзор литературных данных о влиянии электрических полей на растения.

Ключевые слова: электрическое поле, гипомагнитное поле, электромагнитное поле.

Влияние экранирования ЭП земли на растения

Электрическое поле (ЭП) атмосферы Земли является одним из факторов среды обитания. В естественных условиях биологические объекты находятся под его непрерывным воздействием. Оно действовало на наземные организмы на всем протяжении эволюции со времени выхода жизни на сушу. Однако в современной жизни человек часто сталкивается с условиями, в которых естественное ЭП атмосферы может экранироваться или искажаться, например: металлическими крышами домов, железобетонными зданиями, средствами транспорта и т.д. ЭП отсутствует также в подводных лодках, космических кораблях, где растениям в будущем отводится важная роль для регенерации газового состава, а также для пополнения продуктов питания [1]. Поэтому вопрос о биологической роли природных ЭП в жизни организмов и, в частности, растений является актуальным.

СЭП атмосферы Земли не имеет горизонтальной составляющей, поэтому выявить его влияние при помощи ориентации, как это было в случае биообъекта в ГМП, не представляется возможным. Остается, по крайней мере, два пути обнаружения действия этого поля. Первый – это экранирование растений от СЭП с помощью различных экранов. При этом контроль обычно проводился в обычных условиях вне экрана. Однако в настоящее время не существует экранов, которые экранировали бы только СЭП, не искажая других полей. Очевидно, что при такой методике эксперимента не получается изучать в «чистом виде» влияние СЭП атмосферы Земли. Второй путь – это моделирование этого поля путем создания искусственных СЭП с напряженностью СЭП атмосферы Земли в экранированных условиях. Однако основная масса экспериментов выполнена по первой методике. Рассмотрим результаты имеющихся многочисленных опытов с растениями, экранированных с помощью различных экранов.

Шидловская и Журбицкий [2] выращивали кукурузу под заземленной металлической сеткой, которая имела ячейки 3.5х3.5см, освещенность при этом снижалась незначительно. Контролем служили свободно растущие растения на

открытой грядке. Оказалось, что кукуруза под сеткой росла хуже и развивалась медленнее, плохо усваивала минеральные элементы.

Однако не все растения одинаково реагируют на экранированное ЭП. Под сеткой сырой вес кукурузы составлял 72 %, а редиса 123 % от контроля [3].

В работе [4] изучали движение листьев фасоли при экранировании естественного ЭМП густой латунной сеткой. Выращивание растений в таком экране с момента посева приводит к постепенному исчезновению начального ритма движения листьев, а в дальнейшем наблюдалась тенденция к прекращению движений. В то же время при переносе растений из обычных условий в экран различия были выражены менее значительно. У растений, выросших в экране, листья фасоли раскрывались на 2-5 дней позднее, площадь их уменьшалась, а длина корешков увеличивалась. В работе высказано предположение, что одним из датчиков времени и синхронизации суточных ритмов движений листьев фасоли могут быть колебания ЭМП Земли. К сожалению, используемый экран был тесен для растений, так что иногда приходилось их подрезать. К тому же, автор не привел ни коэффициент экранирования ЭМП экраном, ни величины магнитных индукций остаточных ЭМП в нем.

В опытах Новицкого [5] был исследован баланс CO_2 у укоренившихся веточек традесканции в свинцовом экране и в обычных условиях в темноте на протяжении нескольких часов. Обнаружено, что у экранированного растения ход кривой выделения CO_2 гораздо более плавен и однозначен, чем у неэкранированного.

Результаты приведенных работ говорят о том, что, во всяком случае, нельзя сбрасывать со счетов значение ЭМП атмосферы в жизни растений.

Влияние искусственного ЭП на растения

В процессе производственной деятельности человек часто попадает в условия со значительным понижением ЭП (например, в текстильной, деревообрабатывающей, электротехнической промышленности). В быту одежда, обувь, изготовленные из синтетических материалов, тоже являются источниками повышенных и неоднородных ЭП. В связи с широким применением электричества в народном хозяйстве растения также часто попадают в условия с повышенным ЭП. Например, растут вблизи высоковольтных линий электропередач. Поэтому актуальна проблема воздействия искусственных ЭП на растения. Ее решение может выявить роль естественных ЭМП в жизни растений.

ЭП делятся условно на слабые с напряженностью $1-10^4$ В/м, сверхслабые – ниже 1 В/м и сильные – выше 10^4 В/м [6].

Влияние искусственного ЭП на растения изучено недостаточно, особенно это касается слабых и сверхслабых полей. Исследования в этом направлении должны дать ответ о величине порога чувствительности растений к ЭП и об уровне его вредного воздействия.

Многие исследователи отмечают, что в зависимости от применяемой напряженности ЭП можно получить эффект усиления или угнетения роста растений и прорастания семян.

Так, например, ЭП напряженностью от 500 В/м до 2500 В/м не изменяет всхожесть семян хвойных пород [7]. Однако при увеличении напряженности до

200 кВ/м всхожесть и энергия прорастающих семян падает на 30-40. Недостатком этой работы является то, что в ней не указаны величины напряженности и всхожесть в контроле.

В опытных вариантах луковицы лука репчатого обрабатывались в ЭП коронного разряда напряженностью 200 кВ/м (величина тока разряда не приведена) с экспозицией 0.5–40 с [8]. Эффективность обработки определяли по таким показателям: число, высота, и суммарная длина листьев на одном растении, ширина листовая пластины, общая масса, сырой и сухой вес листьев с одного растения. Результаты опытов свидетельствуют о существовании стимулирующего и угнетающего действия ЭП на растения. При высадке луковиц лука в день обработки стимулирующий эффект наблюдался при экспозиции 2 с, а угнетающий – 20–40 с. У растений, высаженных на десятые сутки, наблюдался максимальный положительный эффект, который автор объясняет влиянием ЭП, обеспечивающим снятие периода покоя и активацией ростовых процессов у растений лука репчатого на этапе 11_3 органогенеза. При выгонке лука-репка на перо в осенне-зимний период автору удалось уменьшить процент не проросших луковиц с 15–18 % до 5 % за счет выведения их из состояния покоя. Кроме этого, ЭП обеспечивало более раннее прорастание и получение зеленой продукции (на 4-6 дней). При этом увеличивается длина и ширина листьев, их количество и вес на 15–38% по отношению к контролю.

Полигонные исследования и экологические наблюдения под линиями ЛЭП дали интересные результаты. В полигонных экспериментах при ЭП с напряженностью 15–60 кВ/м (50 Гц) на поверхности земли обнаружено уменьшение общей численности беспозвоночных под линией, при 60 кВ/м (50 Гц) – разряжение травостоя и замедление темпов развития растений на 10–20 %. После 10-летней эксплуатации ЛЭП (500 кВ, 50 Гц) при ЭП на поверхности земли 10–14 кВ/м обнаружено повышение частоты аберраций (до 20 %) у некоторых видов растений, зависимость высоты вегетативных побегов травостоя от напряженности ЭП под ЛЭП, повышение тератологических изменений цветков двух видов растений [9].

Эффективность воздействия ЭП на биологические объекты, как и при применении других физических факторов, существенно зависит от физиологического состояния организма. Так в [10] показано, что биологическое действие ЭП промышленной частоты зависит от физиологического состояния гриба *Botrytis cinerea*. К сожалению, авторы не указали напряженность ЭП примененного в работе.

ЭП промышленной частоты напряженностью приблизительно 100 кВ/м проявляет мутагенное действие на культуру дрожжей *Candida tropicalis* в физиологическом растворе [11]. Оно позволяет значительно повысить выход морфологических мутантов, характеризующихся большей продуктивностью по сравнению с исходной культурой.

Установлено, что ЭП с напряженностью 550 кВ/м, воздействуя на проростки томатов, вызывает незначительное увеличение хромосомных нарушений в анафазе митоза [12]. При этом наибольшая частота аберраций достигает 1.55 % при 0.61 % в контроле.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ НА РАСТЕНИЯ

Комбинированная обработка семян хлопчатника ЭП коронного разряда (напряженность ЭП не указана) и влиянием температурных факторов привела к получению ряда хозяйственно-ценных мутантов [13].

ЭП напряженностью 600 кВ/м с экспозицией 1-3 с повышает полевую всхожесть семян яровой пшеницы на 17–22 % в зависимости от их сортовых особенностей, существенно увеличивает энергию прорастания (табл. 1), водопоглотительную способность (табл. 2), интенсивность дыхания проростков (табл. 3) и продуктивность фотосинтеза растений (табл. 4) [14]. При этом заметно увеличивается высота растений, длина и число колосков, озерненность и абсолютный вес семян. Кроме того, растениям свойственна и более высокая весенняя выживаемость, поэтому повышается сбор зерна и соломы с единицы площади.

Таблица 1

Влияние предпосевной электрообработки на энергию прорастания и всхожесть семян яровой пшеницы разных сортов

Сорт	Энергия прорастания, %		Всхожесть, %	
	контроль	электрообработка	контроль	электрообработка
Саратовская 33	35.3	77.7	98.6	100
Саратовская 35	18.5	77.7	86.1	97.9
Харьковская 45	41.3	78	90	98
Комета 2	30.6	49.3	94	100
Красноуфимская 3	27	69	96	99

Таблица 2

Поглощение воды семенами яровой пшеницы Саратовская 33 спустя 2 часа от начала замачивания

Вариант опыта	Процент к контролю, %
Контроль	100
Предпосевная обработка семян в поле коронного разряда	
Посев в день обработки	109
Обработка – посев 12 день	154

В результате обработки семян ЭП коронного разряда урожай хлопка-сырца, посаженного на площади 600 га, увеличился в среднем на 0.1 ц. с га. [13].

Предпосевная обработка семян в ЭП напряженностью 400–500 кВ/м не только увеличивает урожайность, но и улучшает качество продукции нового урожая: повышается процентное содержание белка в зерне пшеницы на 0.55–5.7 % и витамина С на 0.6–5.6 % в картофеле; сахара на 0,3–0.5 % в корнеплодах сахарной свеклы [15].

Таблица 3

Влияние предпосевной обработки семян яровой пшеницы Саратовская 33 в электрическом поле на интенсивность дыхания двухдневных проростков

Вариант опыта	СО ₂ , мг на 100г сухого веса	% к контролю
Контроль	9.45	100
Предпосевная обработка семян в ЭП коронного разряда		
Посев в день обработки	9.72	103
Обработка – посев 12 дней	16.18	170
Обработка – посев 20 дней	13.69	145
Предпосевная обработка семян в электростатическом поле		
Обработка – посев 12 дней	16.22	170

Таблица 4

Влияние предпосевной обработки семян на продуктивность фотосинтеза растений

Вариант опыта	г/м ² в сутки
Контроль	5.23
Предпосевная обработка семян в ЭП коронного разряда. Обработка – посев 12 дней	8.5
Предпосевная обработка семян в электростатическом поле. Обработка – посев 12 дней	9.08

Сообщается, что путем изменения величины и знака потенциала платинового электрода, подведенного к растению через питательный раствор, можно влиять на поглощение углекислоты листьями кольраби и ячмене [16]. При понижении отрицательных потенциалов от 100 до 2500 В она плавно увеличивается в опытах с кольраби от 107 % до 162 % соответственно. С подачей на кольраби таких же положительных потенциалов фотосинтез снижался до 91% и 33% соответственно. Аналогичные результаты были получены и на листьях ячменя. Такие изменения ЭП наблюдаются в атмосфере перед грозой [17, 18] и, по мнению автора, могут оказать влияние на фотосинтез.

Значение ЭП атмосферы оказывает влияние на минеральное питание растений [2]. При положительном заряде атмосферы помидоры поглощали больше анионов, а при отрицательном – катионов, причем в первом случае увеличивалось поглощение анионов в 1.3 раза, а во втором случае поглощение катионов в 2.5 раза.

Исследование влияния неоднородных ЭП и МП на изгиб coleoptилей проростков овса на клиностате показало, что в МП с магнитной индукцией 0.1020 и

0.0556 Тл изгиб составлял 10.44° (в контроле – 15.15°). В ЭП напряженностью 25.8–123 кВ/м полностью устраняло изгиб [19].

Таким образом, анализ перечисленных выше работ показал, что сильные ЭП могут оказывать влияние на прорастание семян и рост растений.

В ряде работ на примере суспензии пурпурных мембран и бактериородопсина показано, что в ЭП напряженностью $\sim 10^7$ В/м у них возникает поляризационное состояние, которое можно зафиксировать низкой температурой (-80 , -60 , -30° С) [20]. Последующее нагревание препарата при выключенном поле приводит к последовательной релаксации смещенных групп, которую можно наблюдать в виде токов, протекающих во внешней измерительной цепи. По мнению авторов, поляризация приводит к конфирмационным перестройкам, что в свою очередь сказывается на скорости активного транспорта ионов в мембране, а следовательно, и ее проницаемости. В последнее время ЭП коронного разряда напряженностью $2 \cdot 10^5$ В/м рассматривают как фактор воздействия, обеспечивающий снятие периода покоя и активацию ростовых процессов у растений лука репчатого, находящегося в состоянии покоя (на 11_3 этапе органогенеза) [8]. Однако по нашему мнению в этом случае на растения в основном действует электрический ток коронного разряда, механизмы влияния которого могут иметь совершенно другую природу. Как полагает Журбицкий [16], аэроионы углекислоты CO_2^+ и O^{2+} и другие азот и углерод содержащие ионные комплексы, являются основным звеном, через которое ЭП воздействует на растения. Таким образом, обобщая литературные данные, можно сделать вывод о том, что ЭП естественного и искусственного происхождения могут влиять на рост растений. Между тем остался открытым вопрос о пороге биологического действия этих полей на растения. К тому же до полного понимания механизмов влияния ЭП еще далеко.

Вопросы механизмов влияния ЭП на биологические объекты, в частности, на растения до конца не изучены [21]. Их решение позволит выявить роль природных и эндогенных ЭП в жизни растений. При этом будут определены порог чувствительности и порог вредного действия ЭП на растения.

В настоящее время ведется поиск биофизических, физико-химических и физиологических механизмов действия ЭП на различные биологические объекты [21]. К сожалению, в литературе содержится очень мало сведений по этому вопросу в отношении растений. Поэтому мы кратко приведем данные о предполагаемых механизмах, полученных не только при исследовании растений, но и других биологических объектов.

По характеру данной диссертации мы ограничиваемся лишь случаями влияния внешних СЭП, так как анализ биологического действия ПЭП является самостоятельным разделом электромагнитной биологии, и нами не изучался.

Кроме этого, мы не затрагиваем вопросы влияния локальных ЭП, неизбежно присутствующих в белковых системах *in vivo*, на кинетику химических превращений и транспорт заряженных частиц (электронов, ионов) в этих системах [22].

В основе биофизического механизма действия ЭП на растительные объекты может лежать явление поляризации тканей этих объектов в ЭП [23]. Оно заключается в том, что в ЭП неполярные молекулы становятся полярными и вместе

с полярными молекулами ориентируются по полю. При этом направление собственных полей молекул всегда противоположно внешнему ЭП, поэтому в диэлектрике электрическое поле всегда имеют напряженность меньшую, чем в вакууме. Величину, которая показывает, во сколько раз поле в веществе слабее внешнего называют диэлектрической проницаемостью,

В результате поляризации с одной стороны поверхности тела будут заряды одного знака, а с другой стороны – противоположного. Эти заряды называют поляризационными зарядами.

По расчету, проведенному в работе [24], ориентация отдельных молекул в ЭП пренебрежимо мала. Она определяется отношением dE/kT , где d – дипольный момент (собственный или индуцированный) молекулы θ обычно он равен 0.1-5Д. E – напряженность ЭП, k - константа Больцмана, T – абсолютная температура. Отношение dE/kT характеризует соотношение между энергией, приобретаемой диполем при ориентации в ЭП, и тепловой энергией молекулы. Для молекул в поле напряженностью 10^7 В/м (такая величина напряженности будет в мембране при скачке потенциала 0,1 В и толщине 10^{-8} м) отношение $dE/kT \sim 0,001$. Поэтому эффект ЭП пренебрежимо мал. Однако, как полагают авторы, липидные пленки в биологических мембранах по своему физическому строению являются жидкими кристаллами, в которых молекулы образуют правильно построенные домены или рои, состоящие из 10^6 – 10^7 молекул. В этом случае дипольный момент домена будет увеличен в 10^6 – 10^7 раз по сравнению с отдельной молекулой и станет возможной ориентация его в ЭП.

ВЫВОД

Электрические поля оказывают значительное влияние на рост и развитие разных видов растений.

Список литературы

1. Махоткин Л.Г. Атмосферика и их природа / Л.Г. Махоткин // В кн.: Электромагнитные поля в атмосфере Земли и их биологическое значение. – М.: Наука. – 2004. – С.72–83
2. Шидловская И.Л. Влияние электрического поля и ионов воздуха на минеральное питание и обмен в растениях кукурузы / И.Л. Шидловская, З.И. Журбицкий // Физиология растений. – 1966. – Т.13, №4. – С.657–664.
3. Шидловская И.Л. Влияние электрического поля атмосферы на накопление элементов минерального питания растениями кукурузы, лука, редиса и ячменя / И.Л.Шидловская, З.И. Журбицкий // В сб.: Роль минеральных элементов в обмене веществ и продуктивности растений. – М.: Наука. – 1964. – С. 286–295.
4. Казымов П.П. Движение листьев фасоли в условиях очень слабых электромагнитных полей / П.П. Казымов // Физиология растений. – 1973. – Т.20, №5. – С. 915–919.
5. Новицкий Ю.И. Реакция растений на магнитные поля / Новицкий Ю.И. – М.: Наука. – 1978. – С. 119–130.
6. Чуваев П.П. Влияние слабых и сверхслабых магнитных полей на одноклеточные растения различных ботанических типов и классов / П.П. Чуваев, А.И. Арнаутова, Н.А. Крюков // Тезисы докладов II зонального симпозиума по бионике. – Минск, 1967. – С. 107–108.
7. Стаканов В.Д. Некоторые аспекты действия постоянного электрического поля и тока на древесные растения / В.Д. Стаканов, Л.И. Голомозова // В сб.: Средообразующая роль леса. – Красноярск, 1974. – С. 121–132.

8. Серегина М.Т. Электрическое поле как фактор воздействия, обеспечивающий сжатие периода покоя и активацию ростовых процессов у растений лука репчатого на ПЗ этапе онтогенеза / М.Т. Серегина // Электронная обработка материалов. – 1983. – №4. – С. 73–76.
9. Карташев А.Г. Экологическая оценка переменного электрического поля ЛЭП / А.Г. Карташев, Г.Х. Плеханов // В сб.: Тезисы докл. Всесоюзного симпозиума «Биологическое действие электромагнитных полей». – Пушино, ОНТИ НЦБИ АН СССР. – 1982. – С. 95–100.
10. Лазаренко Б.Р. Значение физиологического состояния гриба при воздействии электрического поля / Б.Р. Лазаренко, И.Б. Горбатовская // Электронная обработка материалов. – 1970. – №5. – С. 73–76.
11. Действие электрического поля на культуру дрожжей / Б.Р. Лазаренко, Е.И. Квасников, И.Б. Крепис [и др.] // Электронная обработка материалов. – 1970. – №6. – С. 65–70.
12. Выродов Д.А. Цитогенетические эффекты действия электрических полей на проростки томатов / Д.А. Выродов // Тезисы докладов 4-го съезда генетиков и селекционеров – Кишинев: Штиница, 1981. – С. 8.
13. Мустафаев С.А. Модификация и генетическая изменчивость у хлопчатника от воздействия электрическим полем высокого напряжения / С.А. Мустафаев // В кн.: Экологическая генетика растений и животных. – Кишинев, 1981. – Т.2. – С. 99.
14. Предпосевная обработка семян яровой пшеницы в электрическом поле постоянного тока / З.М. Хасанова, Р.Р. Ахметов, Ш.Я. Гелязетдинов [и др.] // Электронная обработка материалов. – 1972. – №4. – С. 71–77.
15. Блонская А.П. Влияние электрообработки сезонного материала на качество продукции нового урожая / А.П. Блонская, А.Н. Миронов, В.А. Окулова // Электронная обработка материалов. – 1983. – №6. – С. 71–73.
16. Журбицкий З.И. Влияние постоянного электрического поля на абсорбцию CO₂ листьями растений / З.И. Журбицкий // ДАН СССР. – 1975. – Т. 223, №5. – С. 1273–1275.
17. Гунар И.И. Функциональное значение токов действия в изменении газообмена высших растений / И.И. Гунар, А.И. Синюхин // Физиология растений. – 1963. – Т.10, №3. – С. 265–274.
18. Чалмерс Дж.Л. Атмосферное электричество / Чалмерс Дж.Л. – Л. Гидрометеониздат. – 1974. – 434 с.
19. Pickett J.M. Responses of *avena coleoptiles* to magnetic fields / J.M. Pickett, A.R. Schrank // Texas J. Sci. – 1965. – V. 17, №3. – P. 243–256.
20. Электроиндуцированные изменения спектральных и структурных характеристик пурпурных мембран, модифицированных папаином / Э. Возари, Г.П. Борисевич, А.А. Кононенко [и др.] // Изв. АН СССР., Серия биол. – 1982. – №4. – С. 605–607.
21. Биологическое действие электростатических полей / Ф.Г. Портнов, Л.Ф. Воробьева, Э.Г. Ляровский [и др.] // Успехи современной биологии. – 1985. – Т. 100, № 3(6). – С. 433–440.
22. Тимашев С.Ф. Влияние электрических полей на кинетику биологических процессов / С.Ф. Тимашев // Биофизика. – 1981. – Т.26, №4. – С. 642–646.
23. Тамм И.Е. Основы теории электричества / Тамм И.Е. – М.: Наука. – 1989. – 504 с.
24. Бреслер С.Е. О жидко-кристаллической структуре биологических мембран / С.Е. Бреслер, В.М. Бреслер // Докл. АН СССР. – 1974. – Т. 214. – С. 936–939.

Богатина Н.І. Вплив електричних полів на рослини / Н.І. Богатина, Н.В. Шейкіна // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2011. – Т. 24 (63), № 1. – С. 10-17.

Представлено огляд літературних даних про вплив електричних полів на рослини.

Ключові слова: електричне поле, гіпомагнітне поле, електромагнітне поле.

Bogatina N.I. Influence of electric fields on plant / N.I. Bogatina, N.V. Sheykina // Scientific Notes of Taurida V.I. Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2011. – Vol. 24 (63), No 1. – P. 10-17.

Provides an overview of published data on the effect of electric fields on plants.

Keywords: electric field, gipomagnetic field, electromagnetic field.

Поступила в редакцію 22.01.2011 г.