

УДК 504.75

## АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛЭП НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ В ТКАНЯХ ПОДСОЛНЕЧНИКА НА РАЗНЫХ ЭТАПАХ ВЕГЕТАЦИИ

© 2009 Е.А. Новичкова, В.Г. Подковкин<sup>1</sup>

В статье рассматриваются вопросы, связанные с анализом влияния электромагнитного поля высоковольтных линий электропередачи на развитие подсолнечника. В работе содержатся результаты исследования ферментативной активности в тканях подсолнечника на разном расстоянии от источника излучения.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, линия электропередачи, подсолнечник, ферменты антиоксидантной защиты.

### Введение

XXI век характеризуется интенсивным развитием информационного общества, что, в свою очередь, резко увеличивает потребление электрической энергии. Передача электроэнергии от электростанции к потребителям — одна из важнейших задач энергетики. Электроэнергия передаётся преимущественно по воздушным линиям электропередачи (ЛЭП) переменного тока. Это приводит к значительному росту количества источников и объектов энергоснабжения, которые в условиях регионов объединены в рамках единой энергетической инфраструктуры [1]. В то же время передача электрической энергии стала новым источником загрязнения окружающей среды [2]. При этом линии электропередачи обладают выраженной биологической активностью и могут вызывать снижение устойчивости живых организмов к абиотическим факторам среды обитания [3]. Зачастую ЛЭП самой разной мощности пересекают многочисленные сельскохозяйственные поля нашей страны, оказывая влияние как на возделываемые культуры, так и на среду их обитания.

Электромагнитное излучение линий электропередачи выступает в качестве стрессового агента, поэтому его действие на растения сопровождается

<sup>1</sup>Новичкова Елена Анатольевна ([novitchkova@rambler.ru](mailto:novitchkova@rambler.ru)), Подковкин Владимир Георгиевич ([podkovkin@rambler.ru](mailto:podkovkin@rambler.ru)), кафедра биохимии Самарского государственного университета, 443011, Россия, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

липотропным эффектом в биомембранах, который осуществляется путем активации липаз, фосфолипаз, перекисного окисления липидов [4–6]. В то же время антиоксиданты способны реагировать со свободными радикалами, образуя малоактивные радикалы, не реагирующие с новыми молекулами ненасыщенных жирных кислот [7]. Роль антиоксидантов сводится к тому, что в низких концентрациях они способны инициировать свободнорадикальные процессы, проявляя при этом прооксидантные свойства, тогда как при избытке они подавляют образование свободных радикалов в живых организмах, проявляя антиоксидантные свойства [7, 8]. В растительной клетке присутствуют ферменты антиоксидантной защиты (каталаза, пероксидаза и др.), которые также подвержены действию ЭМП.

Следовательно, активность ферментов антиоксидантной защиты зависит от величины действующего на растения электромагнитного поля, которая изменяется в зависимости от расстояния до действующего источника излучения. Поэтому определение активности каталазы и пероксидазы в тканях растений, подверженных действию ЭМП ЛЭП, представляет особый интерес при изучении влияния излучения линий электропередачи на сельскохозяйственные культуры.

## Объект и методика исследования

Исследования проводились на территории Богатовского района Самарской области в мае 2008 года. Особенности температурного режима в районе с. Богатое определяются резко выраженной континентальностью климата. Главные показатели его в отношении температуры характеризуются холодной и суровой зимой, жарким летом, быстрым переходом от низких зимних температур к высоким летним, с кратким периодом перехода весной к полевым работам, изменчивостью и непостоянством температурного режима по отдельным годам. По данным сайта <http://www.pogoda.ru.net/>, сумма активных температур за период исследования в 2008 году составила 1581 °С, средняя температура воздуха за май была равна 14,4 °С (отклонение от нормы –0,4 °С).

В качестве объекта исследования был выбран ультраскороспелый сорт подсолнечника "Поволжский 8". Исследуемая площадь располагалась перпендикулярно ЛЭП и направлялась в глубь поля. Для эксперимента отбирались листья здоровых растений подсолнечника, находящихся на стадии первой и четвертой пар настоящих листьев. Пробы брали с равноценных участков по освещенности, влажности, элементарному составу почвы в одно время для каждого объекта исследования. Забор растений производили на расстоянии 0; 60; 120 и 180 м для подсолнечника, поскольку именно в этих точках при предварительном исследовании морфометрических параметров наблюдались заметные отклонения от контрольных показаний. Кон-

трольными считали растения, растущие на расстоянии 1000 м от источника излучения.

В процессе исследования проводили оценку почвы, для чего в районах проведения экспериментов делали химический и биологический почвенный анализы.

1. Химический анализ почвы [9]. Определяли содержание гумуса, влажность, рН, механический состав и структуру почвенных образцов, концентрацию ионов  $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4^2$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  полуколичественным методом.

2. Биотестирование почвы проводили с использованием семян кресс-салата. Семена кресс-салата проращивали в течение двух суток в почве, взятой с экспериментальных точек, и в контрольных почвенных образцах. Условия прорастания (освещенность, влажность, температура) у опытной и контрольной групп были одинаковые. По истечении двух суток мы делали замеры проростков [10].

Пероксидазную активность вытяжки из листьев с ацетатным буфером рН 5,4 определяли по скорости реакции окисления бензидина (метод А.Н. Бояркина) [11]. Каталазную активность водной вытяжки определяли по методу М.А. Королюка, Л.И. Ивановой, основанному на способности перекиси водорода образовывать с солями молибдена стойкий окрашенный комплекс [12].

## Результаты и их обсуждение

По результатам наблюдений было установлено, что почвенные образцы со всех исследуемых точек имели кубовидную комковато-зернистую структуру, по механическому составу — тяжелосуглинистые, из новообразований содержали лишь растительные остатки. Все исследуемые почвенные образцы имели нейтральную (область рН = 6,5–7,0) или слабощелочную среду (область рН = 7,0–7,5), не содержали ионы  $\text{SO}_4^2$ , но полуколичественный анализ показал наличие ионов  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}$  (точность 1–0,1 мг/100 мл водной вытяжки) (см. таблицу).

Для исключения возможности влияния каких-либо почвенных факторов, исследование которых не представляется возможным, проведен биотест, результаты которого также приведены в таблице. Длина проростков кресс-салата, выращенных на исследуемых почвенных образцах, практически не различалась. Статистически достоверные изменения отсутствовали.

Следовательно, различия в росте и фотосинтетической активности подсолнечника на разном удалении от ЛЭП обусловлены не составом почвы, а интенсивностью электромагнитного поля, действующего на него в течение всего вегетационного периода.

В результате исследований пероксидазной и каталазной активности подсолнечника на разных стадиях вегетации было установлено следующее. Пероксидазная активность в тканях подсолнечника на стадии первой пары

Таблица

## Почвенные показатели и результаты биотестирования

$\Delta L$ , м	Влажность, %	рН	Гумус, %	Ионы			Высота проростков в биотесте, мм
				Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	
0	24,40	6,85	6,21	+	—	+	16,50±0,26
15	21,60	6,95	6,08	+	—	+	16,35±0,31
30	23,40	7,00	6,31	+	—	+	16,40±0,19
45	22,00	6,65	6,14	+	—	+	16,30±0,24
60	23,10	6,90	6,00	+	—	+	16,15±0,53
75	24,50	7,10	6,19	+	—	+	16,25±0,42
90	22,90	7,20	6,17	+	—	+	16,00±0,29
105	24,20	6,90	6,21	+	—	+	16,10±0,38
120	23,70	6,90	6,07	+	—	+	16,20±0,40
135	23,70	6,85	6,13	+	—	+	16,55±0,47
150	22,80	7,15	6,14	+	—	+	16,40±0,34
165	23,20	7,05	6,06	+	—	+	16,30±0,41
180	23,00	6,80	6,00	+	—	+	16,10±0,29
195	23,10	6,85	6,19	+	—	+	16,20±0,36
210	22,50	6,80	6,17	+	—	+	16,35±0,24
1000	23,00	6,80	6,09	+	—	+	16,20±0,30

**Примечание.**  $\Delta L$  — расстояние от ЛЭП.

настоящих листьев была достоверно снижена во всех точках исследуемой площадки (рис. 1). При этом степень угнетения активности пероксидазы зависела от расстояния до источника излучения, а следовательно, от мощности действующего на подсолнечник ЭМП ЛЭП. Так как с увеличением расстояния от линий электропередачи мощность их излучения уменьшается, то должно снижаться и действие поля на ферменты. Действительно, по результатам опытов минимальной пероксидазной активностью обладали растения вблизи источника излучения (0–60 м). Здесь активность фермента была ниже контрольного уровня в 2–5 раз (рис. 1). Подобное снижение пероксидазной активности под действием электромагнитного излучения согласуется с данными ряда авторов [13, 14].

Было зафиксировано достоверное снижение каталазной активности в тканях подсолнечника на стадии первой пары настоящих листьев в средней части исследуемого участка (рис. 2). Активность этого фермента на отрезке 60–120 м была на 30 % ниже по сравнению с контролем. При этом

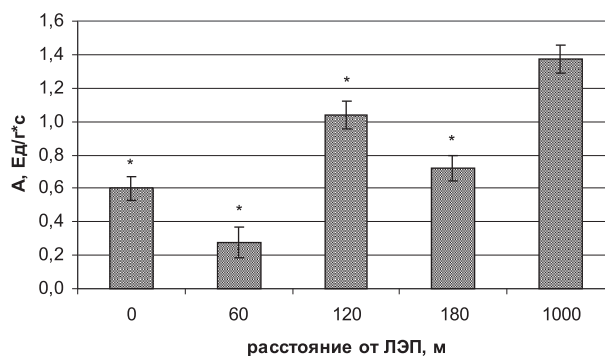


Рис. 1. Активность пероксидазы в тканях подсолнечника на стадии первой пары настоящих листьев (\* — отличие от контроля достоверно для  $\rho < 0,05$ )

наблюдалась положительная корреляция средней силы между активностью каталазы и пероксидазы ( $r = 0,50$ ). Таким образом, в зоне действия линий электропередачи имело место значительное снижение активности ферментов антиоксидантной защиты растения. Предположительные механизмы подобного воздействия основаны на конформационных перестройках растворителя (воды) или молекулы энзима, изменении проницаемости клеточных мембран [14, 15].

Следует отметить, что каталазная активность снижалась под влиянием ЭМП промышленной частоты менее выражено, чем пероксидазная. Это может объясняться тем, что каталаза — более значимый фермент антиоксидантной системы, а, следовательно, стабилизация ее активности важна для нормальной работы растительной клетки в условиях стресса.

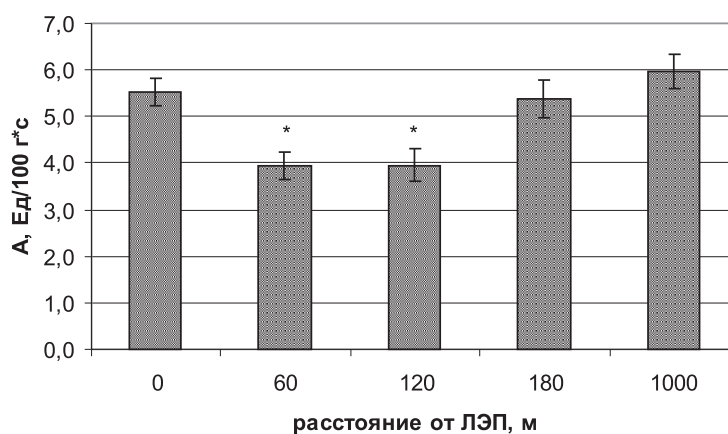


Рис. 2. Активность каталазы в тканях подсолнечника на стадии первой пары настоящих листьев (\* — отличие от контроля достоверно для  $\rho < 0,05$ )

Пероксидазная активность в тканях подсолнечника на стадии четырех пар настоящих листьев изменялась аналогично предыдущей стадии развития. Активность пероксидазы также была достоверно ниже контроля во всех точках. Как и на стадии первой пары листьев, на стадии четырех пар настоящих листьев вблизи источника ЭМП активность фермента уменьшалась заметнее, чем при удалении от ЛЭП на большое расстояние (рис. 3). Так, на отрезке 0–60 м пероксидазная активность была снижена в 7,5 раз, а на отрезке 120–180 м максимально снижение активности равнялось 2,3 раза.

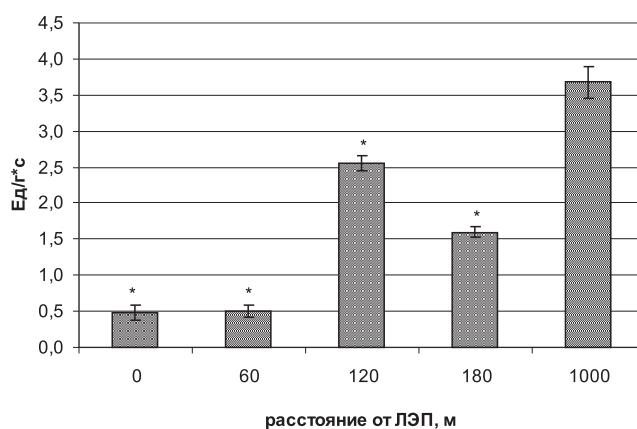


Рис. 3. Активность пероксидазы в тканях подсолнечника на стадии четырех пар настоящих листьев (\* — отличие от контроля достоверно для  $p < 0,05$ )

Между активностью пероксидазы на разных стадиях вегетации подсолнечника зафиксирована сильная положительная корреляция ( $r = 0,96$ ). В то же время степень снижения пероксидазной активности преобладала на стадии четырех пар настоящих листьев. Возможно, это связано с кумулятивным действием ЭМП ЛЭП.

Также нами отмечена тенденция к значительному снижению каталазной активности подсолнечника на стадии четырех пар настоящих листьев. Этот эффект был отмечен во всех точках. При этом минимальной каталазной активностью обладали растения в точках 0 и 120 м (снижение в 3 раза по сравнению с контролем) (рис. 4). Между активностью ферментов антиоксидантной защиты на данной стадии вегетации подсолнечника была отмечена положительная корреляция ( $r = 0,42$ ). Заметной корреляции между активностью каталазы на разных стадиях онтогенеза зафиксировано не было, но связь положительная ( $r = 0,38$ ).

Таким образом, на стадии четырех пар настоящих листьев степень снижения активности ферментов антиоксидантной защиты в зоне действия ЛЭП была выше, чем на предыдущей стадии вегетации. Видимо, сказывается постоянное пребывание растений в электромагнитном поле. Стоит

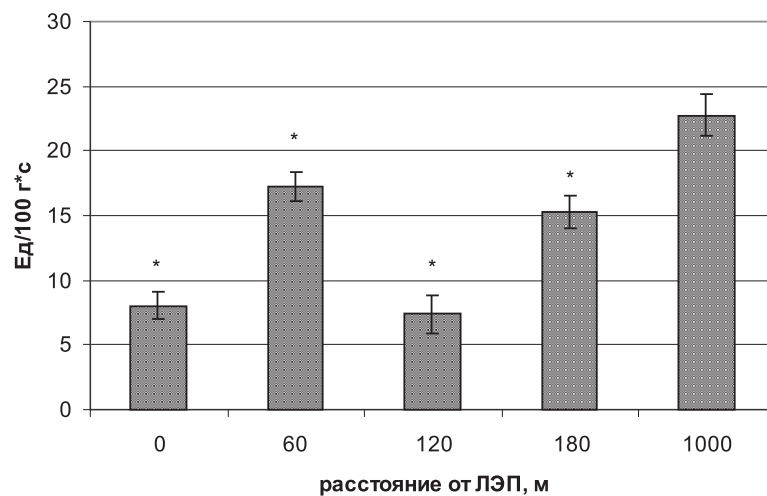


Рис. 4. Активность каталазы в тканях подсолнечника на стадии четырех пар настоящих листьев (\* — отличие от контроля достоверно для  $p < 0,05$ )

отметить, что в целом активность каталазы и пероксидазы была выше на стадии четырех пар листьев. Это согласуется с данными ряда авторов о росте содержания ферментов по мере развития молодого растения [7].

## Заключение

Таким образом, на исследуемой площадке в зоне действия линий электропередачи мощностью 110 кВ наблюдалось снижение активности антиоксидантной системы растения под влиянием ЭМП промышленной частоты. При этом наиболее выраженным было угнетение пероксидазной активности. Также стоит отметить, что степень снижения активности ферментов была тем выше, чем ближе к ЛЭП располагались растения, то есть обратно пропорционально расстоянию до источника ЭМП.

Результаты проведенных исследований подтверждают, что электромагнитное поле линий электропередачи обладает выраженной биологической активностью. Результаты подобных научных изысканий могут найти применение в работе природоохранных организаций и учреждений агропромышленного комплекса при обосновании рекомендаций по рациональному размещению и эксплуатации электротехнических сооружений в условиях природных экосистем и сельскохозяйственных предприятий, а также при разработке соответствующей нормативной документации.

## Литература

- [1] Дубров А.П. Геомагнитное поле и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 63 с.
- [2] Сподобаев Ю.М. Основы электромагнитной экологии. М.: Радио и связь, 2000. 239 с.
- [3] Подковкин В.Г., Слободянюк И.Л., Углова М.В. Влияние электромагнитных полей окружающей среды на системы гомеостаза. Самара: Изд-во "Самарский университет", 2000. 108 с.
- [4] Григорьев Ю.Г., Васин А.Л. Влияние на организм электромагнитных полей радиочастот (анализ отечественной литературы) // Электромагнитные поля и население. 2004. С. 5–41.
- [5] Пряхин Е.А., Тряпицына Г.А., Коломец И.А. Влияние ЭМИ GSM формата на индукцию микроядер в лимфоцитах крови человека при воздействии *in vitro* // Сотовая связь и здоровье. 2005. С. 63–65.
- [6] Владимиров Ю.А. Свободные радикалы в биологических системах // Соровский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 12. С. 13–19.
- [7] Рогожин В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов. СПб.: ГИОРД, 2004. 240 с.
- [8] Костюк В.А., Потапович А.И. Биорадикалы и биоантиоксиданты. Минск: БГУ, 2004. 179 с.
- [9] Кавеленова Л.М., Прохорова Н.В. Науки о Земле. Практикум по курсу "Почвоведение с основами геологии": учебное пособие. Самара, 2001. 64 с.
- [10] Овчинникова Т.А., Панкратов Т.А., Авдеева Н.В. Практикум по физиологии растений. Самара: Изд-во "Самарский университет", 1999. 62 с.
- [11] Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимического исследования растений / под ред. А.И. Ермакова. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
- [12] Кленова Н.А. Большой спецпрактикум по биохимии. Ч. 1. Биомолекулы: строение, свойства, превращения. Самара: Изд-во "Самарский университет", 1996. 88 с.
- [13] Зebкус В.Е., Стаменкович С. Кинетика ферментативных реакций в переменных электрических полях // Биофизика. 1989. Т. 34. Вып. 4. С. 541–543.
- [14] Фролов Ю.П. Управление биологическими системами: молекулярный уровень. Самара: Изд-во "Самарский университет", 1999. 108 с.
- [15] Музалевская Н.И., Шушков Г.Д. Исследование биотропности параметров слабого магнитного поля диапазона сверхнизких частот // Реакции биологических систем на магнитные поля. М.: Наука, 1978. С. 199–208.

Поступила в редакцию 9/II/2009;  
в окончательном варианте — 9/II/2009.



**THE ANALYSIS OF THE ACTION OF THE  
ELECTROMAGNETIC FIELD OF POWER LINE ON THE  
ACTIVITY OF ENZYMES OF ANTIOXIDANT  
PROTECTION IN SUNFLOWER TISSUES AT DIFFERENT  
STAGES OF VEGETATION**

© 2009 E.A. Novitchkova, V.G. Podkovkin<sup>2</sup>

In the article the questions connected with the analysis of the influence of the electromagnetic field of high-voltage power line on the sunflower's development are considered. The results of the research of enzymatic activity in sunflower's tissues on a different distance from a radiation source are given in the paper.

**Key words and phrases:** electromagnetic field, high-voltage transmission line, sunflower, enzymes antioxidant protection.

Paper received 9/II/2009.

Paper accepted 9/II/2009.

---

<sup>2</sup>Novitchkova Elena Anatolievna ([novitchkova@rambler.ru](mailto:novitchkova@rambler.ru)), Podkovkin Vladimir Georgievich ([podkovkin@rambler.ru](mailto:podkovkin@rambler.ru)), Dept. of Biochemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.