

УДК 574.24

ПОДСОЛНЕЧНИК (*HELIANTHUS ANNUUS L.*) КАК ОБЪЕКТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

© 2009 Е.А. Новичкова, В.Г. Подковкин

Самарский государственный университет, г. Самара

Поступила 03.04.2009

В статье рассматриваются вопросы, связанные с анализом влияния электромагнитного поля высоковольтных линий электропередачи на развитие *Helianthus annuus L.* В работе содержатся результаты исследования морфометрических параметров подсолнечника в онтогенезе на разном расстоянии от источника излучения.

Ключевые слова: подсолнечник, электромагнитное поле, линия электропередачи.

Изучение характера и последствий взаимодействия объектов живой природы с элементами и системами техногенной среды представляет как научный, так и практический интерес. Одной из наиболее значимых характеристик современной техносферы является высокая энергонасыщенность ее объектов [1]. Бурное развитие систем энергообеспечения привело к изменению облика многих территорий и возникновению «электросетевой среды» - одной из разновидностей техногенных ландшафтов. Более того, термин "глобальное электромагнитное загрязнение окружающей среды" официально введен в 1995 году ВОЗ, включившей эту проблему в перечень приоритетных для человечества [2]. Вместе с тем, многофакторное влияние линий электропередачи (ЛЭП) на природную среду изучено недостаточно.

Сооружения электрических линий и создание их разветвленной пространственно-сетевой структуры в ряде случаев сопряжено с физической трансформацией, деструкцией, загрязнением природной среды, выведением естественных экосистем из состояния динамического равновесия, ослаблением либо утратой ими свойств саморегуляции [3]. При воздействии ЭМП регистрируются реакции адаптивного характера, иногда, в зависимости от напряженности поля, эти реакции носят патологический характер [4]. Таким образом, ЭМП выступает в качестве стрессового агента.

Изучение молекулярных механизмов устойчивости растений к стрессовым воздействиям окружающей среды является одной из важнейших проблем в современном растениеводстве, знание которых может позволить целенаправленно и эффективно управлять защитными реакциями с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных культур [5]. В настоящее время к группе высокодоходных полевых культур, играющих ключевую роль в укреплении экономики хозяйств, принадлежит *Helianthus annuus L.* В Российской Федерации культурный подсолнечник (*Helianthus annuus L.*)

является главной масличной культурой [6]. В Российской Федерации под подсолнечник отводится около 6 млн. га. Культурный подсолнечник (*Helianthus annuus L.*) относится к классу *Dicotyledones* (Двудольные), подклассу *Asteridae* (Астериды), порядку *Asterales* (Астроцветные), семейству *Asteraceae* (Астровые) [7].

Таким образом, несмотря на большое число данных об активном воздействии электромагнитных полей (ЭМП) на биологические процессы, эта проблема во многом остается дискуссионной. Особенно актуальна эта проблема в отношении сельскохозяйственных культур, устойчивость которых к факторам окружающей среды, а, следовательно, урожайность может во многом определяться действием ЭМП линий электропередачи (ЛЭП), пересекающих поля. Целью нашего исследования является изучение влияния электромагнитного поля линии электропередачи на развитие и урожайность подсолнечника (*Helianthus annuus L.*). Для этого нам необходимо решить следующие задачи: исследовать почвенные образцы на разном расстоянии от источника ЭМП; определить высоту и сухую массу подсолнечника в зависимости от расстояния до ЛЭП-110 кВ; изучить размеры семян *H. annuus L.* и его урожайность по сравнению с предыдущими годами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования был выбран ультраскороспелый высокомасличный сорт подсолнечника «Поволжский 8». Исследования проводились на территории Богатовского района Самарской области в мае-сентябре 2008 года. По данным сайта <http://www.pogoda.ru.net/> среднегодовая температура воздуха за 2008 г. была равна +6,0 °С, сумма активных температур за период вегетации в 2008 году составила 2183,9°С, средняя температура воздуха за май была равна 14,4°С (отклонение от нормы -0,4°С), за сентябрь – 11,6°С (отклонение от нормы -1,3°С). Количество осадков за период вегетации в 2008 г. составило 215 мм: в мае – 21 мм (58% от месячной нормы), в сентябре – 45 мм (98% от месячной нормы). Среднегодовое количество осадков равно 427 мм. В целом 2008 г. отвечал требованиям данной сельскохозяйственной культуры по температуре и количеству осадков.

Новичкова Елена Анатольевна, аспирант кафедры биохимии. Подковкин Владимир Георгиевич, доктор биологических наук, профессор той же кафедры. E-mail: biochemistry.ssu@rambler.ru.

Эксперименты проводились на двух исследуемых площадях: ИП-1 располагалась перпендикулярно ЛЭП и направлялась вглубь поля, ИП-2 – также была перпендикулярна источнику излучения, но направлялась к автодороге местного значения. Таким образом, ИП-2 была подвержена действию двух стрессовых агентов: электромагнитного поля и автомобильной трассы. Для эксперимента отбирались здоровые растения *H. annuus L.*, находящиеся на стадии четырех пар настоящих листьев (31 мая), а также на стадии созревания семян (20 сентября). Пробы брали с равноценных участков по освещенности, влажности, элементарному составу почвы в одно время для каждого объекта исследования. Забор растений производили через каждые 15 м на отрезке 0-210 м от источника излучения. Контрольными считали растения, растущие на расстоянии 1000 м от ЛЭП.

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

1. Химический анализ почвы [8]. Определяли гумусность, влажность, рН, механический состав и структуру почвенных образцов, концентрацию ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} полуколичественным методом.

2. Биотестирование почвы. 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 одинаковыми. По истечении двух суток делали замеры проростков [9].

В качестве морфометрических показателей подсолнечника изучали общую высоту и сухую массу растений, для чего с каждого исследуемого участка брали образцы для замеров высоты и индивидуального взвешивания. На стадии созревания семян определяли их сухую массу. Повторность была равна 15. Статистическую обработку результатов проводили с использованием пакета анализа Microsoft Office Excel 2003.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

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 SO_4^{2-} , но полуколичественный анализ показал наличие ионов Ca^{2+} , Cl^- (точность 1-0,1 мг/100 мл водной вытяжки) (табл. 1). Для исключения возможности влияния каких-либо почвенных факторов, исследование которых не представляется возможным, проведен биотест, результаты которого также приведены в табл. 1. 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.

Результаты исследования изменения высоты подсолнечника в зоне ЛЭП напряжением 110 кВ приведены в табл. 2. На обеих исследуемых площадях имело место значительное понижение высоты растений по сравнению с контролем. В то же время на ИП-2 подобная тенденция проявляется намного сильнее. Если на ИП-1 достоверное угнетение высоты было зафиксировано вблизи ЛЭП на отрезке 0-60 м, в точке 90 м и на отрезках 135-150, 180-210 м, то на ИП-2 во всех исследуемых точках высота подсолнечника достоверно превышала высоту контрольных экземпляров (Табл. 2). Непосредственно под источником высота подсолнечника снижалась на 24 и 27 % на ИП-1 и ИП-2 соответственно. Минимальный уровень высоты на ИП-1 был у растений в точке 150 м, он был меньше контроля на 32% (табл. 2). Тогда как на ИП-2 минимум высоты был зафиксирован при удалении от ЛЭП на 195 м и был понижен на 33% по сравнению с контролем. Видимо, угнетающее действие ЭМП усиливается при наличии автодороги как стрессового фактора.

Сухая масса растений в зоне действия линий электропередачи также изменялась с тенденцией к уменьшению. На ИП-1 достоверное снижение сухой массы подсолнечника имело место в 15 м от источника ЭМП на 46%, на отрезке 45-60 м – на 41%, в точке 90 м и на отрезке 135-150 м – на 40%, при удалении от ЛЭП на 195 м – на 41% (табл. 2). Минимальное значение массы подсолнечника наблюдалось в точке 150 м, здесь оно в 1,5 раза отличалось от контроля. В остальных точках ИП-1 величина сухой массы тоже была ниже контрольного уровня. На ИП-2 снижение сухой массы подсолнечника проявилось сильнее, так как помимо ЭМП имел место дополнительный фактор загрязнения окружающей среды – автомобильная дорога. На данной исследуемой площадке достоверное наблюдалось уменьшение сухой массы растений на расстоянии 15-30 м от источника и в точке 60 м на 36%, на отрезках 90-120, 195-210 м и в точке 150 м – в среднем на 44% (табл. 2). Минимальное значение массы подсолнечника было в точке 105 м, здесь оно в 1,5 раза отличалось от контроля. Ни в одной точке ИП-2 величина сухой массы не превысила контрольный уровень. Стоит отметить, что между величиной сухой массы на ИП-1 и ИП-2 имела место средняя степень корреляции с коэффициентом $r = 0,57$. Кроме того, высота и сухая масса подсолнечника на ИП-1 коррелировали с $r =$

0,79 (сильная положительная связь), на ИП-2 – $r = 0,50$ (связь средней силы). Таким образом, и высота, и сухая масса подсолнечника на стадии четырех пар настоящих листьев в зоне ЛЭП-110 кВ изменяются в сторону значительного снижения. Причем снижение величины изучаемых параметров

происходит не только в непосредственной близости к источнику излучения, но и на удалении от него. Возможно, это связано с продолжительным воздействием ЭМП на растущий подсолнечник в течение всех предыдущих фаз его вегетации, так называемый эффект аккумуляции.

Таблица 1. Почвенные показатели и результаты биотестирования

ΔL , м	Высота проростков кресс-салата, мм	Влажность, %	рН	Гумус, %	Ионы		
					Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺
0	16,50±0,26	24,20±0,40	6,95±0,15	6,18±0,06	+	-	+
15	16,35±0,31	23,20±0,40	6,90±0,20	6,08±0,07	+	-	+
30	16,40±0,19	23,40±0,60	6,75±0,10	6,20±0,10	+	-	+
45	16,30±0,24	24,00±0,30	6,80±0,10	6,14±0,11	+	-	+
60	16,15±0,53	23,50±0,90	6,90±0,20	6,05±0,08	+	-	+
75	16,25±0,42	23,90±0,10	6,90±0,15	6,16±0,08	+	-	+
90	16,00±0,29	23,90±0,30	6,95±0,10	6,09±0,10	+	-	+
105	16,10±0,38	24,20±0,50	6,90±0,10	6,17±0,09	+	-	+
120	16,20±0,40	23,80±0,60	6,80±0,20	6,20±0,05	+	-	+
135	16,55±0,47	23,70±0,70	6,85±0,10	6,16±0,06	+	-	+
150	16,40±0,34	24,60±0,90	7,00±0,10	6,14±0,10	+	-	+
165	16,30±0,41	23,50±0,20	7,00±0,15	6,09±0,08	+	-	+
180	16,10±0,29	23,40±0,20	6,70±0,05	6,12±0,10	+	-	+
195	16,20±0,36	23,30±0,30	6,90±0,05	6,13±0,12	+	-	+
210	16,35±0,24	24,00±0,50	6,85±0,15	6,20±0,07	+	-	+
1000	16,20±0,30	23,20±0,70	6,85±0,20	6,11±0,11	+	-	+

Примечание: ΔL – расстояние от ЛЭП; «+» – ионы присутствуют (с точностью 1-0,1 мг/100 мл водной вытяжки); «-» – ионы отсутствуют.

Таблица 2. Морфометрические показатели подсолнечника в зоне действия ЛЭП-110 кВ

ΔL , м	ИП-1			ИП-2		
	Высота, см	Сухая масса, г	Масса семян, мг	Высота, см	Сухая масса, г	Масса семян, мг
0	13,17±0,83*	1,00±0,20	88,53±2,72*	13,17±0,83*	1,00±0,20	76,87±3,48*
15	13,52±0,66*	0,78±0,08*	100,47±3,92*	12,62±0,68*	0,94±0,05*	82,33±3,94*
30	14,57±0,57*	1,13±0,16	73,20±2,52*	13,25±0,59*	0,93±0,13*	87,20±3,71*
45	13,97±0,49*	0,86±0,10*	54,73±1,39*	12,70±0,87*	1,00±0,16	87,60±4,72*
60	13,65±1,10*	0,85±0,10*	54,93±3,02*	12,85±0,67*	0,92±0,06*	70,00±2,08
75	15,92±1,16	1,06±0,14	61,27±2,09	14,53±1,32*	1,14±0,15	77,27±3,92*
90	14,22±0,40*	0,87±0,10*	53,40±2,01*	13,27±0,86*	0,85±0,04*	87,87±4,70*
105	16,15±0,91	1,07±0,16	79,93±2,38*	14,52±1,14*	0,76±0,02*	83,60±3,40*
120	16,00±0,55	1,14±0,10	61,87±3,03	14,68±1,00*	0,78±0,05*	83,80±3,68*
135	14,08±0,41*	1,03±0,07*	83,33±2,95*	13,75±1,23*	1,01±0,13	74,47±3,33*
150	11,83±0,95*	0,74±0,09*	83,60±1,95*	13,73±0,95*	0,81±0,05*	64,73±2,35
165	17,45±1,02	1,42±0,31	66,40±1,30	13,13±0,84*	1,11±0,07	67,13±2,93
180	13,40±0,88*	1,02±0,20	89,07±3,68*	14,73±1,40*	1,09±0,12	79,67±2,72*
195	14,40±0,62*	0,86±0,05*	61,33±2,72	11,63±0,74*	0,86±0,08*	86,27±2,31*
210	13,28±0,37*	1,15±0,12	55,20±1,50*	14,93±0,45*	0,80±0,06*	98,07±5,64*
1000	17,35±0,35	1,46±0,12	63,60±2,54	17,35±0,35*	1,46±0,12	63,60±2,54

Примечание: * - отличие от контроля достоверно для $p < 0,05$; ΔL – расстояние от ЛЭП.

Затем на стадии созревания нами была изучена сухая масса семян *H. annuus L.* в разных экологических условиях произрастания. Результаты показаны в табл. 2. На ИП-1 наряду с уменьшением массы семян происходило и достоверное ее увеличение в зоне действия ЛЭП-110 кВ. Значительный рост исследуемого параметра наблюдался вблизи ЛЭП на отрезке 0-30 м. Здесь масса семян выросла на 37% по сравнению с контролем, причем в точке 15 м был зафиксирован максимальный размер семян подсолнечника, более чем в 1,5 раза превышающий контрольный. Далее на отрезке 45-60 м и при удалении от линии электропередачи на 90 м был зафиксирован минимальный вес семян, меньше контроля на 14,5%. После такого спада в точке

105 м, на отрезке 135-150 м и на расстоянии в 180 м от источника излучения вновь наступил рост сухой массы семян подсолнечника в среднем на 32%. И еще одно снижение величины исследуемого параметра имело место в 210 м от ЛЭП-110 кВ. Таким образом, на ИП-1 сухая масса семян изменялась волнообразно, то поднимаясь выше, то опускаясь ниже контрольного уровня.

В то же время на ИП-2 (перпендикулярно автодороге) сухая масса семечек изменялась волнообразно с тенденцией к росту по сравнению с контролем. Можно выделить три области, в которых было зафиксировано достоверное увеличение размера семян подсолнечника: 0-45 м – на 31,3%, 75-135 м – на 28% и 180-210 м – на 38,4%. При этом

максимальный вес семян имели при удалении от источника излучения на 210 м, здесь их размер превышал контрольный более чем в 1,5 раза. Видимо, максимум сухой массы семян на ИП-2 связан с действием наряду с ЭМП ЛЭП автомобильной трассы. Таким образом, действие электромагнитного излучения от ЛЭП-110 кВ на подсолнечник в течение всего периода вегетации приводит к волнообразному колебанию веса семян с преобладанием достоверного роста параметра.

Стоит отметить, что урожай подсолнечника в 2008 г. (поле пересекали две линии мощностью 110 кВ) составил 11,3 ц/га. Для сравнения – в 2006 году (ЛЭП по полю не проходили, взят за контроль) урожай был 13 ц/га. Таким образом, в 2008 году урожай сократился на 1,7 ц/га по сравнению с 2006 г. Возможно, что одной из причин сокращения урожайности культуры *H. annuus L.* явилось стрессовое воздействие на растения ЭМП ЛЭП в течение всего вегетационного периода.

В результате проведенных исследований нами выявлено угнетающее действие электромагнитного поля ЛЭП на высоту и сухую массу *H. annuus L.* на стадии четырех пар настоящих листьев, причем более заметное снижение исследуемых параметров было отмечено под влиянием как электромагнитного поля ЛЭП-110 кВ, так и автомобильной дороги местного значения. Также было установлено волнообразное изменение веса семян на стадии созревания. Кроме того, нами зафиксировано снижение урожайности культуры на момент проведе-

ния исследования по сравнению с предыдущим годом на 1,7 ц/га, что также может являться следствием стрессового воздействия на подсолнечник излучения линий электропередачи. Таким образом, на примере *H. annuus L.* нами доказана возможность влияния ЭМП ЛЭП на урожайность сельскохозяйственных культур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев В.Д. и др. Техничко-экологическая стратегия защиты от биоповреждений. М.: Наука, 1995. 248 с.
2. Григорьев О.А., Меркулов А.В. Проблема экологических нормативов в условиях электромагнитного загрязнения окружающей среды// Мат-лы 3-й междунар. конф. "Электромагнитные поля и здоровье человека. Фундаментальные и прикладные исследования", 17-24 сент. 2002 г. М., 2002. С. 25-27.
3. Салтыков А.В. Проблема гибели птиц от электрического тока на ЛЭП в Среднем Поволжье и обоснование птицезащитных мероприятий: дис. ...канд. биол. наук. Тольятти, 2003. 136 с.
4. Григорьев Ю.Г. и др. Электромагнитная безопасность человека. М.: Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, 1999. 146 с.
5. Масленникова Д.Р. Прооксидантная и антиоксидантная системы в проявлении защитного действия салициловой кислоты на растения пшеницы к засолению: дис. ...канд. биол. наук. Уфа, 2005. 139 с.
6. Яковлева Е.А. Морфолого-анатомические особенности побега короткостебельного подсолнечника (*Helianthus annuus L.*): дис. ...канд. биол. наук. СПб, 2006. 535 с.
7. Тахтаджян, А.Л. Систематика магнолиофитов. Л.: Наука, 1987. 439 с.
8. Кавеленова Л.М., Прохорова Н.В. Науки о Земле. Практикум по курсу «Почвоведение с основами геологии»: учебное пособие. Самара, 2001. 64 с.
9. Овчинникова Т.А. и др. Практикум по физиологии растений. Самара: Изд-во «Самарский Университет», 1999. 62 с.

SUNFLOWER (*HELIANTHUS ANNUUS L.*) AS THE OBJECT OF TRANSMISSION LINE'S ELECTROMAGNETIC FIELD INFLUENCE

© 2009 E.A. Novitchkova, V.G. Podkovkin

Samara state university

In the article the questions connected with the analysis of high-voltage transmission line's electromagnetic field influence on development of *Helianthus annuus L.* are considered. There are results of sunflower's morphometric parameters research in the ontogenesis on a different distance from a radiation source in a paper.

Key words: sunflower, electromagnetic field, transmission line.