

**М. П. ТРАВКИН**

## **ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УЛЬТРАВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (УВЧ) НА РОСТОВЫЕ ПРОЦЕССЫ РАСТЕНИЙ**

Живой организм подвергается на земной поверхности воздействию разнообразных факторов. Среди этих факторов большое место занимают электромагнитные колебания.

Как известно, электромагнитные колебания характеризуются частотой колебаний и длиной волны. Длина волны есть расстояние, проходимое волной за один период, то есть, за время одного колебания. При известной частоте колебания легко определить длину волны по формуле:

$$\lambda \text{ (м)} = \frac{300\,000\,000}{f \text{ (Гц)}}$$

где 300 000 000 — скорость света в м/сек. Поскольку длина волны и частота колебаний обратно пропорциональны друг другу, то по известной длине волны можно определить и частоту электромагнитных колебаний:

$$f \text{ (Гц)} = \frac{300\,000\,000}{\lambda \text{ (м)}}$$

Спектр электромагнитных колебаний велик. К ним относятся радиоволны, инфракрасные (тепловые) лучи, ультрафиолетовые лучи, рентгеновские лучи, а также лучи, образующиеся при радиоактивном распаде. Все эти виды электромагнитных колебаний отличаются длиной волны и частотой колебаний. Радиоволны имеют длины волн от 3 000 метров до 0,3 миллиметра; видимый свет — от 0,76 до 0,36 м; космические лучи — короче 0,00001 м.

Диапазон видимой части электромагнитных колебаний

света — по сравнению с остальным спектром чрезвычайно мал. Однако его влияние на всю органическую материю общеизвестно; главная роль видимого света заключается в том, что при участии энергии этих лучей зеленые растения создают органические вещества, обеспечивая ими весь животный мир и большую часть незеленых (гетеротрофных) организмов.

Известна роль проникающей (ионизирующей) радикации на живые организмы. Рентгеновские и космические лучи обладают колоссальной энергией. Попадая в организм, любую живую клетку, они вызывают нарушения в самой структуре живого вещества.

Определенный интерес вызывает сейчас вопрос о влиянии электромагнитных колебаний радиочастот на живые организмы, в том числе и растительные. Эти колебания возникают при электрических разрядах в атмосфере, при работе разнообразных машин и механизмов; на нашу планету приходят электромагнитные колебания радиочастот и с поверхности Солнца, звезд, галактик, даже холодных планет (например, известно радиоизлучение Юпитера).

В связи с развитием техники и прежде всего радиосвязи, широкой сети телевизионных станций напряженность поля электромагнитных колебаний на нашей планете за последние десятилетия чрезвычайно возросла. Естественно возникает вопрос: какое влияние оказывают на растения электромагнитные колебания радиочастот и каков механизм их биологического эффекта?

Первые опыты, выясняющие влияние поля электромагнитных колебаний и радиочастот, в частности ультравысоких (УВЧ), начались в связи с развитием радиотехники и появлением соответствующих генераторов (Френкель, 1939).

Эти опыты показали, что электромагнитные колебания оказывают биологическое действие. Однако они большей частью страдали слабой воспроизводимостью результатов. Причиной того являлось отсутствие дозировки энергии электромагнитного поля. Кроме того, не всегда учитывался тепловой эффект, возникающий при облучении, особенно при использовании высоких напряженностей поля.

Только в последние годы, в связи с развитием радиоэлектронной техники и прежде всего — техники сверхвысоких частот (УВЧ), усовершенствованием методов исследования, использование электромагнитных колебаний радио-

чистот в медицинских и биологических исследованиях получило новый толчок. Точная дозировка облучения объектов, устранение теплового эффекта при использовании генераторов, работающих в импульсном режиме генерации, применение новой аппаратуры для проведения биологического контроля за облучаемыми объектами позволили сделать крупные успехи в изучении интересующего нас вопроса. Развертывающиеся в настоящее время исследования ставят своей целью изучение механизма биологического действия электромагнитных полей; эти исследования основываются на знании природы самих полей, законов их распространения и т. п.

С целью выяснения механизма биологического действия радиоволн на биологические структуры еще в 1936 году были получены интересные данные Красспу-Srgen, 1936). Так при облучении ультравысокой частотой эмульсии (взвесь в воде твердых частичек), эти частицы ориентировались особым образом с возникновением своеобразных цепочек. В последние годы эти модельные опыты были проведены целым рядом исследователей с применением различных ультравысоких частот (Wilderrank A., Wakim K., Herrich J., Krusen H., 1959, Heller J., Teixria-Pinto A., 1959, Teixeria-Pinto A., Nejelski Z., Heller J., Gultor J., 1960, Hellen J., Mickey G., 1961), в результате чего обнаружена ориентация частиц крахмала и молока, эритроцитов и лейкоцитов, и даже ориентационные эффекты на молекулярном уровне. Облучению подвергались также различные микроорганизмы — амёбы, инфузории, бактерии, вирусы, находящиеся в жидкости. Под влиянием УВЧ — поля подвижные организмы перемещаются вдоль линий поля, а неподвижные ориентируются в направлении линий поля.

К подобного рода модельным опытам относятся и опыты Швана (Schwan H., 1958), который нашел, что при облучении растворов белков и других высокомолекулярных соединений микроволнами происходит поляризация их боковых цепей и ориентация вдоль линий поля. Все это в ряде случаев приводит к разрыву водородных связей или других внутренних и межмолекулярных связей, что изменяет зону гидратации, от которой зависит растворимость молекул. В результате эти процессы могут привести к нетепловой денатурации или осаждению молекул.

Хайметс и Хершман (Heinmets F., Herschman, 1961),

анализируя экспериментальные данные различных исследователей, пришли к выводу, что при распространении электромагнитных волн в жидкой среде, содержащей ионы, на них действуют силы Лорентца. На основе своих теоретических выводов авторы считают вероятным воздействие электромагнитных полей высоких частот на функции и рост клеток.

В настоящее время имеются данные, свидетельствующие о специфическом действии электромагнитных полей высоких частот (Пресман А., Коменский Ю., Левитина И., 1961), Пресман А., 1963, 1965. Специфическое действие полей УВЧ и СВЧ можно рассматривать как резонансное поглощение электромагнитных волн белковыми молекулами и молекулами других важнейших соединений живой клетки, которое в конечном итоге может привести к изменению их биологической активности. Таким образом, установлено, что биологический эффект действия электромагнитных колебаний радиочастот обусловлен явлениями поглощения энергии этих колебаний.

Однако в силу известных причин основное в настоящее время уделяется изучению воздействия электромагнитных колебаний УВЧ и СВЧ на организм человека и животных (постоянному воздействию этих колебаний подвергается обслуживающий персонал промышленных, лечебных, научно-исследовательских установок, генерирующих электромагнитные колебания). Биологическое же влияние электромагнитных колебаний радиочастот на растительные объекты оказываются еще далеко неизученными. Вместе с тем, подобного рода исследования являются совершенно необходимыми. Во-первых, потому, что полученные при подобных исследованиях данные можно использовать на практике (см. электромагнитные волны в сельском хозяйстве. «Румыния», 9, с. 40, 1965) и, во-вторых, эти данные необходимы для того, чтобы сделать выводы относительно биологического действия электромагнитных полей радиочастот.

Поскольку литературы по вопросу влияния электромагнитных полей на растения сравнительно мало, мы поставили своей задачей на первом этапе работы выявить стимулирующий эффект облучения.

# 1. ВЛИЯНИЕ ПОЛЯ УЛЬТРАВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (УВЧ) НА КОРНЕОБРАЗОВАНИЕ

## Методика исследования

Источником поля УВЧ служил генератор УВЧ-4 с рабочей частотой 39 мегагерц.

Хорошо вызревшие побеги тополя (*Populus alba*) и клена (*Acer platanoides*) срезались ранней весной и ставились в сосуды с водой на одни сутки. После этого побеги делились на две равные части: одну часть оставляли в сосудах (контроль), другую часть подвергали облучению. Облучение проводилось дозами  $1,5 \text{ вт/см}^2$  в течение 2,5, 5, 8 и 10 мин. при непрерывном режиме генерации. Расстояние между электродами в опытах устанавливалось одно и то же — 10 см. При облучении температура черенков практически не менялась. После облучения черенки ставились в сосуды с водой. Наблюдения за образованием корешков проводились регулярно до конца опыта.

## Результаты исследования

Облучение полев УВЧ побегов тополя и клена указанной выше дозой напряженности показало, что при экспозиции в 2,5, 5 и 8 мин. бугорки появляются уже на третий день после облучения. Еще через три дня появились корешки. Через десять дней корешки были и на контрольных побегах. Обращали на себя внимание корешки опытных вариантов: они отличались не только более интенсивным ростом, но и своей окраской (более светлой по сравнению с контрольными). Количество корней, образовавшихся на опытных побегах, превышало количество их на контрольных (см. таблицу 1).

Таким образом, 2,5- и 5-минутная экспозиция дала положительный эффект. При несколько меньшей средней длине корешков их количество в опытных вариантах было большим по сравнению с контрольным.

Таблица 1

Влияние облучения полем УВЧ побегов тополя и клена на количество образовавшихся корешков и их длину (в мм)

Экспозиция (мин)	Клен		Тополь	
	Колич-во образов. корешков	Средн. длина корешков	Колич-во образов. корешков	Средн. длина корешков
Контроль	9	41,2	12	50,8
2,5	13	36,4	18	43,5
5	11	38,1	13	45,1
8	18	32,3	11	38,3
10	5	24,7	9	29,7

## II. ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ПОЛЕМ УЛЬТРАВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (УВЧ) НА ПРОРАСТАНИЕ СЕМЯН ФАСОЛИ И РАННИЙ РОСТ ПРОРОСТКОВ

### Методика исследования

Как и в первом опыте источником поля УВЧ служил УВЧ-4 генератор с описанной выше характеристикой.

Материалом исследования служили семена фасоли. Перед облучением одну порцию семян замачивали в воде, другую оставляли сухой. Обе порции подвергали однократному облучению в чашках Петри в течение 5 и 15 минут при мощности генератора 1,5 вт/см<sup>2</sup>. Температура семян в процессе облучения практически не повышалась. Контролем служили семена, посеянные без облучения. Одна часть контрольных семян перед посевом замачивалась 24 часа в воде, другая часть оставалась сухой.

После облучения семена высевались в газоны одновременно с контрольными. Наблюдения велись в течение первых 15 дней прорастания. Проводились измерения интенсивности роста, а после ликвидации опытов был определен вес сухой массы, вес сухого вещества и содержание воды в растениях.

## Результаты исследования

Всходы опытных и контрольных вариантов из семян, предварительно замоченных в воде, появились одновременно и на 4—5 дней раньше, чем из сухих семян. Затем наблюдался более энергичный рост опытных вариантов (из замоченных семян) по сравнению с контрольными. К концу опыта энергия роста несколько выравнивалась. Результаты измерения роста проростков даны в таблице 2.

Таблица 2

**Влияние обработки семян фасоли полем ультравысокой частоты (УВЧ) на рост проростков**

Варианты	Высота растений по дням (в см)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Контроль	—	—	—	—	3,1	6,2	7,2	9,4	10,0				
Сухие	—	—	—	—	2,1	7,0	11,6	11,9	13,7				
Влажные	—	—	—	—	5,0	8,7	11,2	11,7	12,7				
5 минут	—	—	—	—	7,7	10,7	12,5	13,3	14,2				
Сухие	—	—	—	—	3,0	3,8	7,9	9,4	10,5				
Влажные	—	—	—	—	7,8	10,8	13,3	13,6	14,2				

После ликвидации опыта было определено: вес сырых растений, вес сухого вещества, а затем содержание воды в контрольных и опытных растениях. Эти результаты даны в таблице 3.

Таблица 3

**Влияние обработки семян фасоли полем ультравысокой частоты (УВЧ) на накопление сухого вещества и содержание воды в растениях**

Варианты	Вес растений (в %% к контролю)		Содержание воды (в %% к сух. веществу)	
	Влажные семена	Сухие семена	Влажные семена	Сухие семена
Контроль	100	100	92,70	91,53
5 минут	116,0	95,8	93,72	91,71
15 минут	127,6	85,6	94,12	92,37

Как видно из приведенных выше данных, облучение семян электромагнитным полем ультравысокой частоты (УВЧ) пяти- и пятнадцатиминутной экспозиции дает определенный стимулирующий эффект; сухие семена менее «отзывчивы» на облучение полем УВЧ.

Таким образом, в результате проведенных опытов можно сделать следующие выводы:

1) при 2,5- и 5-минутном облучении электромагнитным полем ультравысокой частоты (УВЧ) напряженностью в  $1,8 \text{ вт/см}^2$  происходит ускорение корнеобразования у тополя и клена;

2) при более длительном облучении черенков полем УВЧ той же напряженности наблюдается некоторое подавление корнеобразования, возможно, вследствие теплового эффекта;

3) предпосевное облучение предварительно замоченных семян фасоли полем УВЧ указанной выше мощности стимулирует ростовые процессы, увеличивает содержание воды в растениях; вместе с тем, сухие семена оказываются «неотзывчивыми» на облучение.

## ЛИТЕРАТУРА

- Пресман А. С., Клименский Ю. И., Левитина (1963) Усп. совр. биологии, 51, 1, 84—103.
- Пресман А. С. (1964) Усп. совр. биологии, 56, 2 (5), 161—177.
- Пресман А. С. (1964) Биофизика, 9, 1, 131—134.
- Пресман А. С. (1965), «Наука и жизнь», 5, 82—88.
- Франкель Г. Л. (1939), Электрическое поле ультравысокой частоты (УВЧ) в биологии и экспериментальной медицине, вып. 2.
- Heller J., Teixeira Pinto A., (1959), «Naturke», 183, 905.
- Heinmets F., Herschman A., (1961), *Physiol. Med. and Biol.*, 5, 3, 271.
- Kvasny-Evden W., (1936), *Hochfrequenztech und Electroakust.*, 48, 126.
- Schwan H. (1958), *Pvoc. 2-nd Tri-Serv. Conf. Biol. Effect Microwaves*, p. 53
- Teixeria Pinto A., Nejelski L., Heller J., Gultei J., (1960), *Exptel. Cell Res.*, 20, 548.
- Wilderrank A., Wakim K., Herrich J., Krusen H., (1959.) *Arch. Phys. Med.*, 40, 2, 45