



## ВЛИЯНИЕ СЛАБЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РОСТ И ФОТОСИНТЕТИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ЛИСТЬЕВ БОБОВ

*А.И. Акимов, А.Н. Баранов, А.М. Салецкий*

Изучены медленные индукционные изменения флуоресценции листьев бобов *Vicia faba* L. сорта «Русские черные», выращенных на дистиллированной воде, обработанной слабым переменным магнитным полем с амплитудным значением напряженности 12.3 А/м и частотой 156.3 Гц, и действие такой обработки на рост бобов. Обнаружено стимулирующее действие магнитной обработки воды на фотосинтез и рост бобов.

В последнее время широкий интерес вызывает воздействие магнитных полей на жизнедеятельность различных организмов [1]. Сообщалось также о влиянии магнитных полей на прорастание семян пшеницы и ячменя [2], однако до сих пор не предложено сколько-нибудь обоснованного механизма такого воздействия. Высказывалось лишь предположение об универсальном характере влияния магнитного поля на воду, содержащуюся в любой биологической системе [1], но оно не было подтверждено какими-либо физическими исследованиями свойств воды при обработке магнитным полем. В работе [3] было обнаружено, что при длительном воздействии на воду модулированного магнитного поля  $H = H_r + H_0 \cos 2\pi ft$  (где  $H_r$  - напряженность вертикальной составляющей геомагнитного поля) при  $H_0 < H_r$  и строго фиксированном соотношении между амплитудой  $H_0$  и частотой  $f$  наблюдаются экстремальные изменения ряда структурно-чувствительных параметров воды. Причем, после выключения поля вода сохраняет «память» (порядка 6-8 часов) о таком воздействии. Проведенные в [4] исследования показали, что в водных растворах белков изменение динамической структуры сетки водородных связей воды, вызванное воздействием переменного магнитного поля, приводит к конформационным изменениям молекул белка.

Цель данной работы - изучение влияния обработки воды слабым переменным магнитным полем на рост бобов и фотосинтетический процесс в их листьях.

Объектами исследования служили листья и проростки бобов *Vicia faba* L. «Русские черные», выращенные в лабораторных условиях с дополнительным освещением лампами накаливания общей мощностью 500 Вт с расстояния 0.5 м, при близкой к естественной смене периодов света и темноты.

В опытах использовалась дистиллированная вода с  $pH=7.1$  и проводимостью  $\kappa=1.2 \cdot 10^{-6}$  Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>. Обработка воды производилась в катушках Гельмгольца, подключенных к генератору Г6-15, частота которого допол-

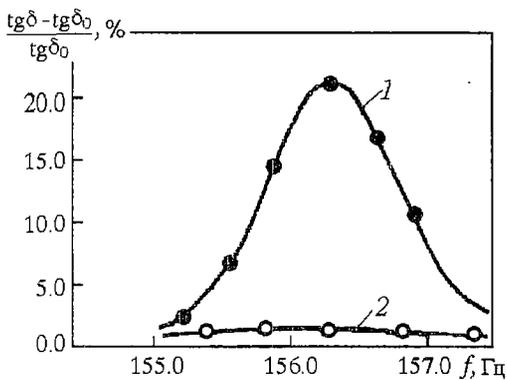


Рис. 1. Зависимость относительного изменения тангенса угла диэлектрических потерь воды, обработанной переменным магнитным полем, по сравнению с тангенсом угла диэлектрических потерь не подвергавшейся обработке воды,  $(\text{tg}\delta - \text{tg}\delta_0) / \text{tg}\delta_0$  в процентах от частоты магнитного поля для  $H_0 = 12.3$  А/м (кривая 1) и  $H_0 = 17.2$  А/м (кривая 2)

полем  $H = H_0 \cos 2\pi f t$ , от частоты  $f$  для  $H_0 = 12.3$  А/м. Результаты измерений показаны на рис.1, кривая 1: видно, что на частоте 156.3 Гц находится максимум изменения  $\text{tg}\delta$  обработанной магнитным полем воды по сравнению с  $\text{tg}\delta$  необработанной воды. Этот максимум практически совпадает с наблюдавшимся ранее в [4]. Время достижения стационарного значения  $\text{tg}\delta$ , как и в [4], около 2 часов. Такое изменение  $\text{tg}\delta$  свидетельствует о изменении структуры воды. Аналогичные измерения, проведенные для воды, обработанной переменным магнитным полем с  $H_0 = 17.2$  А/м не показали существенного изменения  $\text{tg}\delta$  (рис. 1, кривая 2) от частоты магнитного поля в исследованном интервале частот, что говорит об отсутствии изменений в структуре воды. Поэтому для исследования влияния обработки воды слабым переменным магнитным полем была выбрана частота 156.3 Гц и два значения амплитуды поля, первое «резонансное»  $H_0 = 12.3$  А/м при котором возникают изменения  $\text{tg}\delta$ , а значит структуры воды, и второе «нерезонансное»  $H_0 = 17.2$  А/м, при котором таких изменений не возникает.

Около двух десятков бобов примерно одного размера замачивались и проращивались в обработанной магнитным полем воде и, для контроля, в не подвергавшейся магнитной обработке воде. На 14-е сутки проростки переносились на 14 суток в гидропонические условия и выращивались на водных растворах при описанных условиях освещения. Результаты усреднялись по пяти сериям измерений.

Биометрические показатели растений (длина корешков и длина стеблей), выращенных в воде, обработанной переменным магнитным полем с частотой  $f = 156.3$  Гц для двух значений  $H_0$ : 12.3 А/м и 17.2 А/м, а также контрольных растений приведены в таблице. Из нее следует, что обработка воды «резонансным» магнитным полем с  $H_0 = 12.3$  А/м и  $f = 156.3$  Гц приводит к более интенсивному росту в ней растений по сравнению с необработанной водой и водой, обработанной «нерезонансным» переменным магнитным полем с  $H_0 = 17.2$  А/м. и  $f = 156.3$  Гц. Следует отметить, что наиболее сильно стимулирующее действие поля проявлялось на стадии прорастания. Процент семян, проросших в первую неделю после замачивания в обработанной «резонансным» переменным магнитным поле воде, увеличивался, а разброс величин контролируемых биометрических параметров уменьшался по сравнению с контрольными.

нительно контролировалась частотомером ЧЗ-33. Измерения были выполнены для двух значений напряженности магнитного поля в центре катушек Гельмгольца  $H_0 = 12.3$  и  $H_0 = 17.2$  А/м. Для получения информации об изменениях свойств воды при такой обработке, измерялась зависимость от частоты тангенса угла диэлектрических потерь  $(\text{tg}\delta)$ , являющегося, как было показано в [3], наиболее структурно-чувствительным параметром воды. Время обработки воды составляло 6 часов, причем дальнейшее увеличение времени обработки не приводило к дополнительному изменению  $\text{tg}\delta$ . Измерение  $\text{tg}\delta$  проводилось на куметре ВМ-409 фирмы «Tesla» на частоте  $f_{\text{из}} = 160$  МГц (начало дебаевской дисперсии). Первоначально исследовалась зависимость  $\text{tg}\delta$  воды, обработанной переменным магнитным

Таблица

Показатель	Контроль	$H_0=17.2$ А/м $f=156.3$ Гц	$H_0=12.3$ А/м $f=156.3$ Гц
Длина корешков на 8-й день после замачивания, см	$0.8 \pm 0.2$	$0.8 \pm 0.2$	$1.4 \pm 0.2$
Длина корешков на 13-й день после замачивания, см	$1.7 \pm 0.2$	$1.7 \pm 0.3$	$2.4 \pm 0.2$
Длина стебля на 21-й день после замачивания, см	$8.3 \pm 2.2$	$8.0 \pm 3.0$	$13.2 \pm 2.3$
Длина стебля на 28-й день после замачивания, см	$10.0 \pm 1.3$	$10.5 \pm 2.4$	$22.8 \pm 2.0$
$M/T$ для листьев, отн.ед.	1.4	1.4	1.7

На 28-е сутки после замачивания, помимо биометрических показателей, измерялась медленная индукция флуоресценции (МИФ) листа, которая позволяет судить об эффективности проходящих в нем фотосинтетических процессов [5]. Возбуждение флуоресценции листа осуществлялось аргоновым лазером ЛГ-106 с длиной волны излучения  $\lambda=488$  нм. Луч лазера ослаблялся нейтральными светофильтрами так, чтобы плотность мощности излучения была порядка  $2 \text{ Вт м}^{-2}$ , для устранения эффектов насыщения. Флуоресценция на длине волны 686 нм, соответствующей максимальной интенсивности, выделялась двойным монохроматором МДР-6 и регистрировалась с помощью ФЭУ-79 и усилителя на самописце. Запись интенсивности флуоресценции начиналась одновременно с включением лазерного излучения. Длительность записи составляла 80 с, при этом интенсивность флуоресценции выходила на стационарное значение и далее не изменялась. Для нормировки начальных условий перед регистрацией МИФ листья освещались в течение 1 минуты, а затем 5 минут адаптировались к темноте. На рис. 2 показаны характерные кривые МИФ листьев бобов. В работе [5] отмечалось, что фотоиндуцированные изменения интенсивности флуоресценции хлорофилла на участке  $S-M/T$  (см. рис. 2) предположительно связаны с перераспределением энергии возбуждения между фотосостояниями, с изменениями величины градиента протонов на тилакоидной мембране, а также с дополнительным окислением вследствие активизации реакции углеродного цикла. При этом форма кривой МИФ может служить тестом на структурно-функциональную целостность фотосинтетического аппарата, а относительное тушение флуоресценции после второго максимума ( $M/T$ ) может служить показателем эффективности фотосинтеза [6]. Как видно из рис. 2, магнитная обработка воды не приводит к

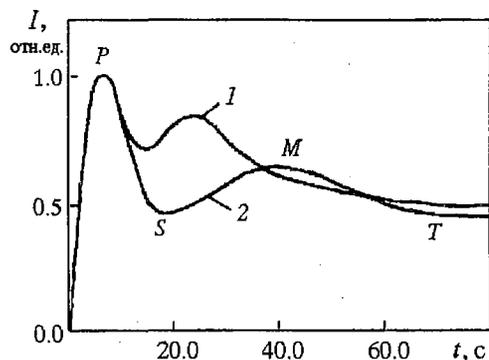


Рис. 2. Кривые медленной индукции флуоресценции листьев бобов, выращенных на обработанной переменным магнитным полем воде с  $H_0=12.3$  А/м и  $f=156.3$  Гц (кривая 1) и листьев контрольных бобов (кривая 2)

существенному изменению формы кривой индукции (сохраняется двухвершинный характер МИФ), что свидетельствует о сохранении механизмов, ответственных за отдельные стадии МИФ. Вместе с тем, заметно уменьшаются времена достижения второго максимума и стационарного уровня флуоресценции (см.рис. 2), а отношение  $M/T$  увеличивается (см. таблицу). Это указывает на более эффективную регуляцию в системе световых и темновых реакций фотосинтеза в случае растений, выращенных на подвергнутой «резонансной» магнитной обработке воде.

Сравнение параметров МИФ и биометрических показателей (см. таблицу) показывает, что наблюдается корреляция между степенью тушения флуоресценции на участке  $M-T$  кривой МИФ и основными биометрическими показателями: размером корешков и стеблей проростков. Это согласуется с литературными данными о стимулирующем действии магнитной обработки воды на эффективность сопряжения световых и темновых реакций и на фотосинтетическую активность, поскольку фотосинтез является предпосылкой роста, обеспечивая последний в энергетическом и материальном отношении. Следовательно, обработка воды переменным магнитным полем (с  $H_0=12.3$  А/м и  $f=156.3$  Гц) стимулирует фотосинтетическую активность.

Таким образом, переменное магнитное поле влияет на фотосинтез и биометрические показатели растений опосредовано, изменяя физические параметры воды. Влияние его на воду резонансное, причем зависит от соотношения амплитуды и частоты магнитного поля. Кроме изменения  $\text{tg}\delta$  при обработке воды переменным магнитным полем наблюдаются резонансные изменения и ряда других физических характеристик воды: электропроводности, теплопередачи, величины переохлаждения, светорассеяния и др. (см., например, [3, 4, 7]). Нерезонансное магнитное поле не влияет на воду и поэтому не влияет на растения. В дальнейшем представляет интерес поставить сравнительные исследования по влиянию подобной магнитной обработки воды на физиологию других биосистем для выявления биологически значимых физических параметров воды.

*Работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, гранты 94-02-0407а и 95-02-05186а.*

### Библиографический список

1. *Копанев В.И., Шакула А.Н.* Влияние гипомангнитного поля на биологические объекты // М.: Наука, 1986. С.100.
2. *Махнев В.П.* Влияние магнитного поля на прорастание семян // Биологические механизмы и феномены действия низкочастотных и статических электромагнитных полей на живые системы. Томск, 1984. С.24.
3. *Семихина Л.П., Киселев В.Ф., Левшин Л.В., Салецкий А.М.* Влияние слабых магнитных полей на некоторые оптические свойства воды // Журн. прикл. спектр. 1988. Т. 48, № 5. С.841.
4. *Киселев В.Ф., Салецкий А.М., Семихина Л.П.* О влиянии слабых магнитных полей и СВЧ-излучения на некоторые диэлектрические и оптические свойства воды и водных растворов // Журн. теоретич. и эксперим. химии. 1988. № 3. С. 330.
5. *Карпетян Н.В., Бухов Н.Г.* Переменная флуоресценция хлорофилла как показатель физиологического состояния растений // Физиология растений. 1986. Т. 35, вып.5. С.1013.
6. *Караваев В.А., Шагурина Т.Л.* Медленная индукция флуоресценции и  $\text{CO}_2$  - газообмен листьев бобов в присутствии различных химических агентов // Физиология растений. 1988. Т. 35, вып.5. С. 962.
7. *Березин М.В., Ляпин Р.Р., Салецкий А.М.* Препринт № 22. М.: МГУ, физ. ф-т, 1988.

Московский государственный  
университет

Поступила в редакцию 01.12.94  
после переработки 13.12.95

## WEAK MAGNETIC FIELDS INFLUENCE ON GROWTH AND LEAVES PHOTOSYNTHESIS ACTIVITY OF BEANS

*A.I. Akimov, A.N. Baranov, A.M. Saletsky*

Slow induced leaves fluorescence changes of beans (*Vicia faba* L. sort Russian black), grown on distilled water and worked up by weak variable magnetic field with amplitude 12.3 A/m and frequency 156.3 PPS and also influence of such water processing on beans growth have been studied. It is shown that the magnetic field processing of water stimulates beans growth and photosynthesis.



*Акимов Анатолий Иванович* - родился в 1922 году, окончил Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (1947). Защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в МГУ (1959) в области атомной спектроскопии. Старший научный сотрудник МГУ. Область научных интересов - квантовая электроника, люминесцентные и генерационные свойства сложных органических соединений, применение оптических методов в различных областях физических исследований. Опубликовал свыше 100 научных статей по направлениям, казаным выше. Лауреат Государственной премии СССР.



*Баранов Анатолий Николаевич* - родился в 1955 году, окончил физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (1978). После окончания работал в Физическом институте им. П.Н. Лебедева АН СССР, в настоящее время ассистент физического факультета МГУ. Область научных интересов - квантовая электроника, газовая динамика, межмолекулярные взаимодействия, применение оптических методов исследования в различных областях физических исследований. Опубликовал около 30 научных статей по указанным направлениям.



*Салецкий Александр Михайлович* - родился в 1952 году, окончил физический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (1979) и аспирантуру (1981). Тогда же защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в области молекулярной спектроскопии, доцент МГУ. Область научных интересов - квантовая электроника, молекулярная спектроскопия сложных органических соединений, межмолекулярные взаимодействия. Автор монографий «Люминесценция и ее измерения» и «Лазеры на основе сложных органических соединений». Опубликовал около 200 статей по вышеуказанным направлениям.