

## ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ПЕРЕМЕННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И ГИПЕРТЕРМИИ НА РОСТ И ФОТОСИНТЕЗ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА

Синицына Ю.В.<sup>1</sup>, Середнева Я.В.<sup>1</sup>, Веселов А.П.<sup>1</sup>, Сухов В.С.<sup>1</sup>

*ФГАОУ ВО "Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского", Нижний Новгород, Россия (630950, Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23), e-mail: jsin@inbox.ru*

Исследовали влияние низкоинтенсивного переменного магнитного поля (амплитуда 1,5 мТл, частота 15 Гц), гипертермии (42°C) и их сочетания на функциональное состояние тилакоидных мембран (по скорости реакции Хилла) и ростовые характеристики растений гороха - длину надземной части и главного корня. Показано, что воздействие переменным магнитным полем (ПеМП) в течение 0,5 и 2 ч не вызывало изменений указанных параметров, в то время как гипертермия их ингибировала. Предобработка растений ПеМП перед гипертермией препятствовала как снижению скорости реакции Хилла, так и ингибированию удлинения надземной части растений, хотя полного возвращения к контрольным значениям не происходило. Выявленный защитный эффект ПеМП позволяет предположить наличие единых либо сходных механизмов воздействия на клетки растений таких физических факторов, как гипертермия и переменное магнитное поле. Ослабление негативных последствий стрессирующего воздействия после обработки ПеМП может использоваться как методический прием обнаружения магнитобиологических эффектов слабых магнитных полей.

Ключевые слова: Низкоинтенсивное переменное магнитное поле, гипертермия, фотосинтез, рост, магнитобиология

## LOW-FREQUENCY ALTERNATING MAGNETIC FIELD AND HYPERTHERMIA INFLUENCE ON GROWTH AND PHOTOSYNTHESIS OF PEA SEEDLINGS

Sinitsyna Y.V.<sup>1</sup>, Sereднеva Y.V.<sup>1</sup>, Veselov A.P.<sup>1</sup>, Sukhov V.S.<sup>1</sup>

*Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, Gagarina street, 23), e-mail: jsin@inbox.ru*

The effects of low-frequency alternating magnetic field (amplitude 1.5 mT, 15 Hz), hyperthermia (42°) and their combinations on thylakoid membranes function (Hill reaction) and growth characteristics of pea plants (shoot and main root length) were investigated. It has been shown that exposure to alternating magnetic field for 0.5 or 2 hours did not cause changes in the above parameters, while hyperthermia inhibited them. Plants pretreatment with magnetic field before hyperthermia prevented both reduction of Hill reaction and inhibition of shoots elongation, but full return to control values wasn't occurred. This protective effect of magnetic field let us suggest the common or similar mechanisms of two physical factors - hyperthermia and an alternating magnetic field - influence on plant cells. The weakening of after-stressing treatment negative consequences with low-frequency alternating magnetic field can be used as a methodological procedure for magnetobiological effects detection.

Keywords: low-frequency alternating magnetic field, hyperthermia, photosynthesis, growth, magnetobiology

Низкочастотные переменные магнитные поля – неотъемлемая часть антропогенной среды. В силу противоречивости результатов исследований влияния низкочастотных магнитных полей на живые организмы, в научном сообществе имеются как сторонники точки зрения о существенном влиянии магнитных полей на метаболизм организма, так и скептики, полагающие энергию низкочастотных переменных магнитных полей слишком малой для реализации биологических эффектов [1,6]. Известны сообщения, что обработка слабым магнитным полем может оказывать корректирующее послестрессовое воздействие, заключающееся в восстановлении им физиологических процессов, нарушенных стрессовыми факторами [7]. Целью данного исследования была проверка защитного эффекта

низкочастотного магнитного поля перед воздействием высокой температуры. Гипертермия от 42°C и выше является стрессирующим фактором для растений, в результате действия которого происходит замедление важнейших физиологических функций организма. В данной работе оценивали состояние фотосинтетического аппарата по скорости реакции Хилла и скорость ростовых процессов проростков гороха, обработанных низкочастотным переменным магнитным полем и повышенной температурой в разной последовательности.

### **Материалы и методы**

Объектом исследования служили растения гороха *Pisum sativum L.*, сорта «Альбумен», выращенные в климатической камере при температуре +23°C и 16 – часовом световом периоде. Для генерации переменного магнитного поля (ПеМП) использовалась магнитотерапевтическая установка VL-2 ("ElectroBiology", США). Поле создавалось пачками из 20 импульсов длительностью 227 мкс с амплитудой 1,5 мТл, следующих с частотой 15 Гц; длительность обработки 0,5 часа. При исследовании скорости реакции Хилла, условия гипертермии создавали в термостате, предварительно нагретом до температуры 42°C. Часть растений подвергали последовательному воздействию магнитного поля (0,5 или 2 часа) и гипертермии (0,5 часа). Контролем служили растения, выдержанные в условиях нормального геомагнитного поля при температуре +23°C.

При исследовании ростовых характеристик измеряли длину побега и главного корня у 9-дневных растений, обозначая их как "исходные значения". Затем растения выдерживали в переменном магнитном поле, в термостате, либо последовательно: ПеМП + термостате, после чего возвращали в климатическую камеру на 4 суток. Таким образом, итоговые измерения ростовых параметров проводили у 13-дневных растений.

Для изучения влияния гипертермии на ростовые реакции растений гороха применяли более жесткий режим: температуру в термостате повышали от 38°C до 49°C в течение 20 мин, после чего растения находились при температуре 48±1°C в течение 10 мин. Данный режим гипертермии был выбран на основании предварительных экспериментов как максимально возможный не летальный, но вызывающий сильное ингибирование роста растений гороха.

Скорость реакции Хилла выявляли по скорости восстановления феррицианида калия, хлоропласты (типа С) выделяли методом дифференциального центрифугирования, суммарное содержание хлорофиллов в суспензии хлоропластов определяли по формуле Арнона [2].

### **Результаты и обсуждение**

Реакция Хилла представляет собой индуцируемый светом перенос электронов от воды к нефизиологическим окислителям (реагентам Хилла) против градиента химического

потенциала. С помощью этой реакции судят об интенсивности фотохимических процессов и общем состоянии водоокисляющего комплекса фотосинтетического аппарата. Реакция Хилла локализована в тилакоидной мембране. Ранее были показаны колебания процессов перекисного окисления липидов в них под действием низкоинтенсивных ПемП: быстрая кратковременная активация, сменявшаяся их замедлением на фоне увеличения активности некоторых антиоксидантных ферментов [3]. Активность мембраносвязанных ферментов тесно связаны со структурой липидной компоненты мембраны. Индуцированные ПемП изменения липидного состава мембраны тилакоидов могли привести к модификации ее функций, в связи с чем оценивали функциональное состояние тилакоидных мембран по скорости реакции Хилла.

Показано, что переменное магнитное поле не вызывало существенных изменений скорости реакции Хилла - различия с контролем были статистически незначимыми (рис.1).

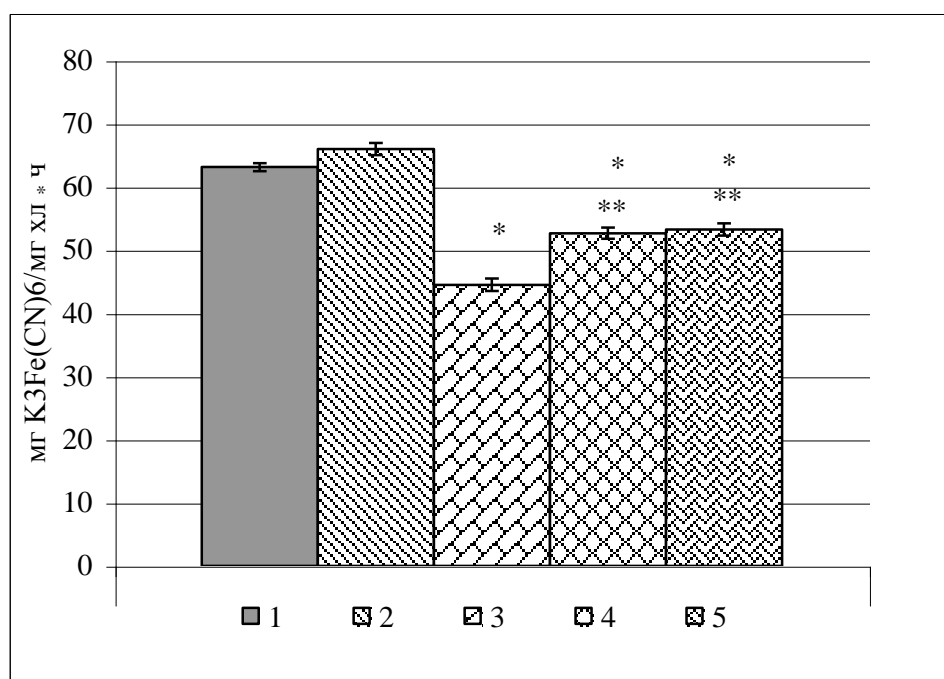


Рис. 1. Влияние магнитного поля и гипертермии на скорость реакции Хилла в хлоропластах гороха (1 - контроль (без воздействия); 2 - ПемП 0,5 ч; 3 - гипертермия 0,5 ч; 4 - ПемП 0,5 ч + гипертермия 0,5 ч; 5 - ПемП 2 ч + гипертермия 0,5 ч).

\* - статистически значимые различия с контролем,  $p < 0,05$ .

\*\* - статистически значимые различия с группой "гипертермия 0,5 ч",  $p < 0,05$ .

Гипертермия 42°C приводила к значительному - полуторакратному - снижению скорости данного процесса. Предварительная обработка растений магнитным полем в течение 30 мин или 2 часов перед гипертермией препятствовало сильному снижению скорости реакции Хилла, хотя полного ее возвращения к контролю не происходило. Длительность действия магнитного поля значения не имела: и 0,5, и 2-часовые экспозиции

оказывали сходный преадаптирующий эффект. Можно предположить, что низкочастотное переменное магнитное поле, не вызывая значимых изменений активности водоокисляющего комплекса фотосинтетического аппарата, тем не менее, индуцирует некоторые возмущения в протекании химических процессов, которые компенсируются имеющимися клеточными резервами. Благодаря такой "раскачке" метаболизма клетки, предобработанных магнитным полем, растений быстрее включают защитные программы при последующей гипертермии, позволяя предотвратить сильное ингибирование реакции Хилла.

Исследование влияния ПеМП и гипертермии на ростовые характеристики растений гороха выявило сходную закономерность ответа со стороны длины наземной части проростка и низкую чувствительность корневой системы к обоим факторам. Переменное магнитное поле почти не влияло на рост надземной части и длину главного корня растений гороха (рис. 2).

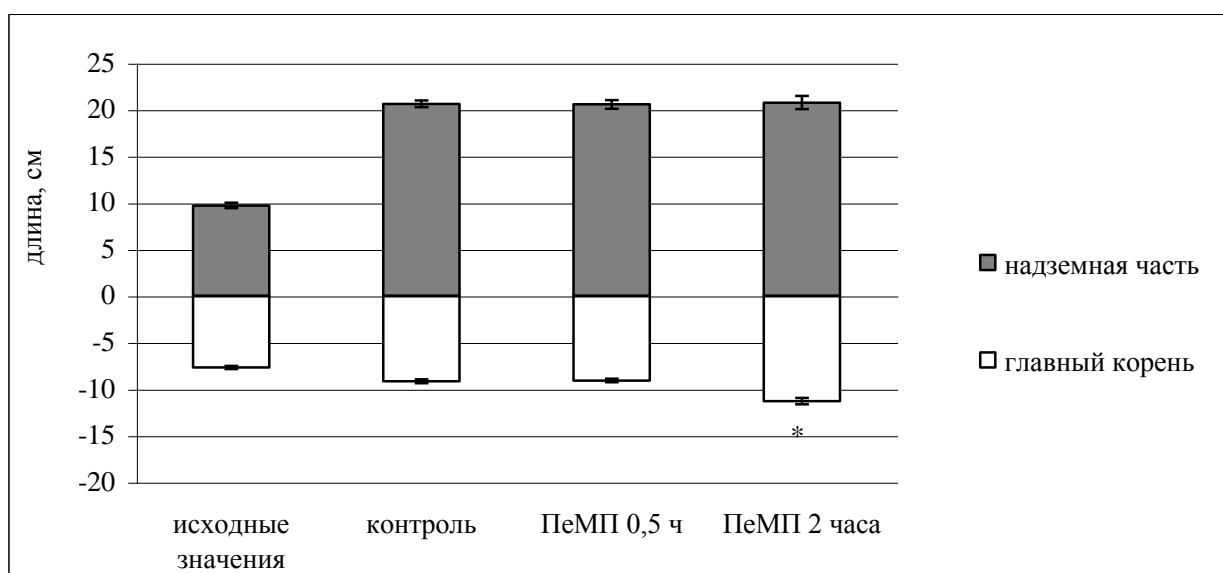


Рис. 2 Влияние магнитного поля на рост главного корня и надземной части растений гороха.

\* - статистически значимые различия с контролем,  $p < 0,05$ .

Как представлено на рис.3, под воздействием гипертермии рост надземной части ингибировался на 88,5% по сравнению с контрольными ( $11,3 \pm 0,3$  см против  $20,6 \pm 0,4$  см в контроле). Предварительное выдерживание растений в переменном магнитном поле уменьшало негативное влияние гипертермии: длина наземной части составляла  $13,4 \pm 0,4$  см и  $16,3 \pm 0,5$  см в зависимости от длительности экспозиции в ПеМП.

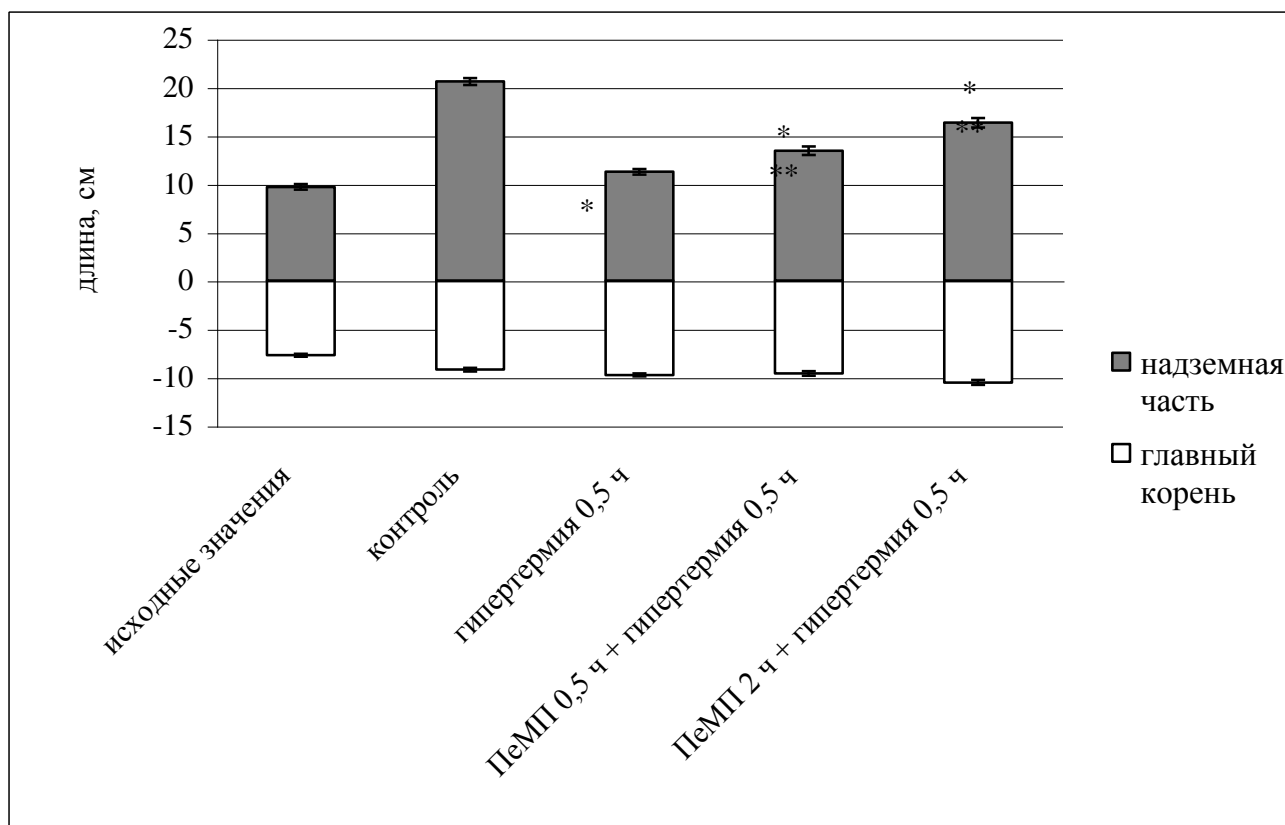


Рис. 3 Влияние гипертермии и магнитного поля на рост главного корня и надземной части растений гороха

\* - статистически значимые различия с контролем,  $p < 0,05$ .

\*\* - статистически значимые различия с группой "гипертермия 0,5 ч",  $p < 0,05$ .

В обзорах [4, 5] приведены примеры как ингибирования, так и активации роста, а также отсутствия изменений ростовых процессов растений при воздействии как постоянных, так и переменных магнитных полей. Следует отметить, что большинство исследований влияния магнитных полей на рост проводятся путем обработки сухих либо прорастающих семян. У более взрослых растений вероятность обнаружения изменений ростовых процессов при действии низкоинтенсивных магнитных полей снижается. Мы наблюдали отсутствие эффекта ПеМП у молодых растений гороха, однако последующее дополнительное стрессовое воздействие - гипертермия - позволило выявить протекторный эффект предварительной обработки ПеМП.

Таким образом, полученные результаты указывают на то, что отсутствие магнитобиологических эффектов на уровне как отдельных химических процессов растения (реакция Хилла), так и целого организма (ростовые реакции) нельзя однозначно интерпретировать как отсутствие влияния низкоинтенсивных ПеМП на метаболизм. Более точный ответ на этот вопрос можно дать после оценки наличия или отсутствия изменений в эффективности последующего стрессового воздействия на растения, предобработанные ПеМП. Возможность активации низкоинтенсивными ПеМП защитных систем организма

указывает на наличие единых либо сходных механизмов воздействия на клетки растений таких разных физических факторов, как гипертермия и переменное магнитное поле.

*Отработка метода анализа теплоустойчивости гороха по подавлению ростовых процессов и определение теплоустойчивости в контроле выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-26-00098).*

### Список литературы

1. Бинги В.Н. Принципы электромагнитной биофизики. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. — 592 с.
2. Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу / Под ред. Ермакова И.П. — М.: Академия, 2003. — 256с.
3. Половинкина Е.О., Кальясова Е.А., Сеницына Ю.В., Веселов А.П. Изменение уровня перекисного окисления липидов и активности компонентов антиоксидантного комплекса в хлоропластах гороха при воздействии слабых импульсных магнитных полей // Физиология растений, 2011. — Т. 58. № 6. — С. 930-934.
4. Belyavskaya N.A. Biological effects due to weak magnetic field on plants // Advances in space research, 2004. — V. 34. — P. 1566-1574.
5. Galland P., Pazur A. Magnetoreception in plants // Journal of plant research, 2005. — V. 118. — P. 371-389.
6. Pickard W.F., Moros E.G. Energy deposition processes in biological tissue: nonthermal biohazards seem unlikely in the ultra-high frequency range // Bioelectromagnetics, 2001. — V.22(2). — P. 97-105.
7. Yinan Yao, Yuan Li, Yongqing Yang, Chunyang Li. Effect of seed pretreatment by magnetic field on the sensitivity of cucumber (*Cucumis sativus*) seedlings to ultraviolet-B radiation // Environmental and Experimental Botany, 2005. — V. 54. — P. 286–294.

### Рецензенты:

Смирнов В.Ф., д.б.н., профессор, руководитель лаборатории микробиологического анализа ОХБИ НИИХимии ФГАОУ ВО ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород;

Гелашвили Д.Б., д.б.н., проф., зав. кафедрой экологии биологического факультета ФГАОУ ВО ННГУ им. Н.И. Лобачевского, г. Нижний Новгород.