

Активация и ингибирование гравитропической реакции в сегментах стеблей льна при изменении величины магнитной индукции слабого постоянного поля в пределах от 0 до 350 микроТесла.

Н.А. Белова, В.В. Леднев.

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН.

Пушино, Московская обл., Россия, 142290.

Показано, что скорость гравитропического изгиба в апикальных сегментах стеблей льна (*Linum bienne*), вырезанных из 4 – дневных этиолированных проростков, существенно и нелинейно зависит от величины магнитной индукции постоянного магнитного поля, B_{DC} , в области значений от 0 до 350 мкТл (микроТесла). Гравитропический изгиб в сегментах стимулируется при $0 \text{ мкТл} \leq B_{DC} \leq 2 \text{ мкТл}$, а также при $200 \text{ мкТл} \leq B_{DC} \leq 350 \text{ мкТл}$ и ингибируется при $100 \text{ мкТл} \leq B_{DC} \leq 170 \text{ мкТл}$ по отношению к контрольным образцам, находившимся при значении $B_{DC} = 46.5 \text{ мкТл}$.

Ключевые слова: гравитропизм, лен (*Linum bienne*), Ca^{2+} - кальмодулин – зависимые киназы, слабые постоянные магнитные поля, магнитный параметрический резонанс в биосистемах.

Активация и ингибирование гравитропической реакции в сегментах стеблей льна при изменении величины магнитной индукции постоянного поля в пределах от 0 до 350 мкТл.

Н.А. Белова, В.В. Леднев.

Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН.

Пушино, Московская обл., Россия, 142290.

Введение.

Ранее мы показали, что слабые комбинированные магнитные поля (КМП), содержащие коллинеарно направленные постоянную и переменные компоненты, способны существенно модулировать – стимулировать и ингибировать - скорость развития гравитропической реакции в отрезках стеблей проса, клевера и льна. [1, 2]. При этом, характер зависимости величин наблюдаемого биоэффекта от частоты и амплитуды переменной компоненты КМП свидетельствует об идентичности механизма воздействия таких полей на тест – системы как животного, так и растительного происхождения [2].

Согласно теории магнитного параметрического резонанса в (биосистемах) [3, 4], взаимодействие слабых КМП с биосистемами обусловлено влиянием магнитного поля на скорость некоторых Ca^{2+} - зависимых биохимических реакций, выполняющих ключевую роль в регуляции метаболизма и функциональной активности клеток эукариот. К таким реакциям, в первую очередь, относятся реакции фосфорилирования, опосредуемые Ca^{2+} - кальмодулин – зависимыми киназами и протеинкиназой С. Существенным аргументом в пользу этого предположения явились экспериментальные данные относительно влияния КМП на скорость Ca^{2+} - кальмодулин – зависимого фосфорилирования легких цепей миозина калмодулинзависимой киназой в бесклеточных системах [5]. Также согласно теории [4], скорость таких реакций может зависеть не только от воздействия КМП, но и от величины слабого постоянного магнитного поля (при отсутствии переменной компоненты). Это предсказание было

подтверждено экспериментально [6, 7] и, в частности, с использованием в качестве тест - системы реакции фосфорилирования легких цепей миозина в растворе [6]. Учитывая подобие механизмов взаимодействия КМП с клетками животных и растений [1, 2], мы предположили, что скорость гравитропического изгиба стеблей растений также может зависеть от величины слабого постоянного магнитного поля при «полном» отсутствии переменной компоненты поля. Данные соответствующих экспериментов, приведенные ниже, подтверждают это предположение.

Методы и техника эксперимента.

Методы получения отрезков стеблей льна (*Linum bienne*) и исследования их реакции на гравитропический стимул были детально описаны нами ранее [1]. В опытах использовали верхние отрезки (сегменты) стеблей льна длиной 2.5 см с обрезанными листьями. Отрезки стеблей льна раскладывали в чашки Петри на фильтровальной бумаге, смоченной дистиллированной водой по 20 отрезков на чашку. Положение базальных концов отрезков фиксировали, накладывая на них кольца, вырезанные из силиконового шланга. Как в «опыт», так и в «контроль» ставили по 2 чашки Петри. Величину гравитропического ответа определяли путем измерения среднего по числу отрезков угла изгиба (отклонения апикального конца отрезка от горизонтальной плоскости), $\alpha \pm \delta$, где δ стандартная ошибка средней величины. Измерения проводили через 2 часа после начала опыта с помощью транспортира. Все опыты проводили при температуре 25 °С.

Постоянные магнитные поля с величиной магнитной индукции в пределах от 0.5 до 350 мкТл получали, снижая или увеличивая величину локального постоянного магнитного поля Земли с помощью катушки Гельмгольца диаметром 39см, продольная ось которой была направлена вдоль вектора магнитного поля Земли. Постоянное напряжение на катушку подавали от стабилизированного генератора напряжения типа С-23. Величину магнитной индукции постоянного магнитного поля B_{DC} , в пределах от 0 до 50 мкТл измеряли с точностью ± 0.1 мкТл с помощью феррозондового магнитометра типа СГС-64М (завод «Геологоразведка»). При

значениях $B_{DC} > 50$ мкТл необходимую величину магнитной индукции постоянного поля устанавливали (с точностью до ± 1.0 мкТл) с учетом коэффициента передачи катушки – 10 мкТл/Вольт - при величине активного сопротивления катушки – 70 Ом.

Контрольные образцы отрезков стеблей льна находились в локальном постоянном магнитном поле Земли ($B_{DC}=46.5$ мкТл). Величина магнитной индукции фонового 50 Гц – переменного магнитного поля в местах локализации опытных и контрольных образцов не превышала 0.1 мкТл.

Результаты и обсуждение.

Как видно из рисунка скорость гравитропического изгиба отрезков стеблей льна существенно зависит от величины магнитной индукции постоянного магнитного поля. Частичная компенсация локального поля Земли примерно в 10 раз (от 46.5 до 4.5 мкТл) не приводит к заметным изменениям степени гравитропического изгиба отрезков льна. Однако при значении $B_{DC} \leq 2.0$ мкТл наблюдается статистически достоверная активация гравитропизма. Напротив, увеличение магнитной индукции постоянного магнитного поля до значений $100 \text{ мкТл} < B_{DC} \leq 170 \text{ мкТл}$ сопровождается ингибированием гравитропической реакции. Однако при дальнейшем увеличении магнитной индукции наблюдается падение скорости гравитропического изгиба до контрольной величины (при $B_{DC} \cong 190$ мкТл) и его последующая активация в интервале от 200 до 347 мкТл. Мы не изучали гравитропический эффект постоянных магнитных полей при значениях $B_{DC} > 347$ мкТл.

Влияние гипомагнитных условий на гравитропизм отрезков льна соответствует предсказаниям теории магнитного параметрического резонанса в биосистемах [4]. Согласно теории, биоэффект постоянного магнитного поля, B_{DC} , определяется выражением:

$$p = \frac{1}{1 + f_c^2 / \lambda^2},$$

где $f_c = \frac{1}{2\pi} \frac{q}{m} B_{DC}$ - «циклотронная» частота иона с зарядом q (К) и массой m (кг), а

$\lambda = k/2\pi$, где k (с⁻¹) – константа скорости диссоциации данного иона из центра связывания Ca²⁺ в Ca²⁺ - зависимом ферменте. Ранее, используя измерения зависимости гравитропического изгиба отрезков стеблей льна от частоты переменной компоненты комбинированного магнитного поля, настроенного на параметрический резонанс для Ca²⁺ (Ca²⁺ - КМП), мы показали, что $\lambda = 1.6$ Гц и, соответственно, $k \cong 10$ с⁻¹, что соответствует «сильным» центрам связывания Ca²⁺ [2]. Величина биоэффекта, индуцируемого при частичной компенсации магнитного поля определяется выражением $\Delta p = |p_{\text{Э}} - p_{\text{К}}|$, где $p_{\text{Э}}$ и $p_{\text{К}}$ соответствуют экспериментальным и контрольным образцам отрезков льна.

Нетрудно убедиться в том, что эффекты компенсации магнитного поля Земли будут проявляться лишь при снижении величин локального магнитного поля Земли не менее, чем в 10 раз. Действительно, для отрезков льна в контроле ($B_{DC} = 46.5$ мкТл, $f_c = 35.6$ Гц и $\lambda = 1.6$ Гц) получим $p_{\text{К}} \cong 0$. Соответственно, для экспериментальных отрезков льна получим: $p_{\text{Э}} = 1$ при $B_{DC} = 0$, $p_{\text{Э}} = 0.5$ при $B_{DC} = 2.1$ мкТл и $p_{\text{Э}} = 0.02$ при $B_{DC} = 4.5$ мкТл. Таким образом, величина Δp , определяющая влияние компенсации локального магнитного поля Земли на гравитропический изгиб отрезков стеблей льна должна достигать максимального значения при приближении к «магнитному вакууму» ($B_{DC} \cong 0$) и быстро снижаться при увеличении магнитной индукции так, что при $B_{DC} = 4.5$ мкТл величина эффекта будет значительно меньше стандартной ошибки в определении среднего угла гравитропического изгиба.

Необходимо отметить, что при оценке влияния компенсации магнитного поля на гравитропическую реакцию отрезков стеблей льна, мы игнорировали возможное влияние на величину биоэффекта «слабых» мест связывания ионов Ca²⁺, других типов ионов, взаимодействующих с Ca²⁺ - связывающими центрами, а также возможное наличие нескольких

различных Ca^{2+} - зависимых биохимических реакций, обеспечивающих гравитропический ответ. Поэтому, несмотря на то, что приведенная выше теоретическая оценка находится в хорошем соответствии с результатами экспериментов, для значений $0 \text{ мкТл} < B_{DC} < 46.5 \text{ мкТл}$ ее следует рассматривать лишь как иллюстрацию возможного количественного объяснения механизма влияния частичной компенсации постоянного магнитного поля на гравитропизм растений. Нам известна лишь одна публикация, имеющая непосредственное отношение к вопросу о влиянии «нулевого» магнитного поля на гравитропизм растений. Согласно Като [8], 12 – часовое экспонирование корней кукурузы в геомагнитном поле, ослабленном в 10000 раз («магнитный вакуум») сопровождается увеличением гравитропического угла изгиба корней, примерно на 37% по сравнению с контролем, находившемся в нормальном геомагнитном поле с величиной магнитной индукции $\cong 50 \text{ мкТл}$. Важно отметить, что активация гравитропического изгиба корней в опытных образцах сопровождалась торможением их роста примерно на 20% [8]. Данные о влиянии геомагнитного поля, ослабленного в 100 – 10000 раз на метаболизм и рост проростков различных растений приведены также в ряде других работ [9-15].

Возможно, что эффекты ингибирования и активации гравитропической реакции отрезков стеблей льна, наблюдаемые при увеличении магнитной индукции локального постоянного магнитного поля также являются результатом воздействия постоянных магнитных полей на скорость каких-то Ca^{2+} – зависимых биохимических реакций в клетках статоцитов. Однако, анализ возможного механизма этих эффектов в настоящее время имел бы чисто предположительный характер.

Авторы выражают благодарность доктору Р. Олендорфу Офтальмологический институт Иллинойской долины, г. Оттава, США (Illinois Valley Eye Institute, Ottawa, IL, USA) за помощь в постановке данной работы и участие в обсуждении результатов.

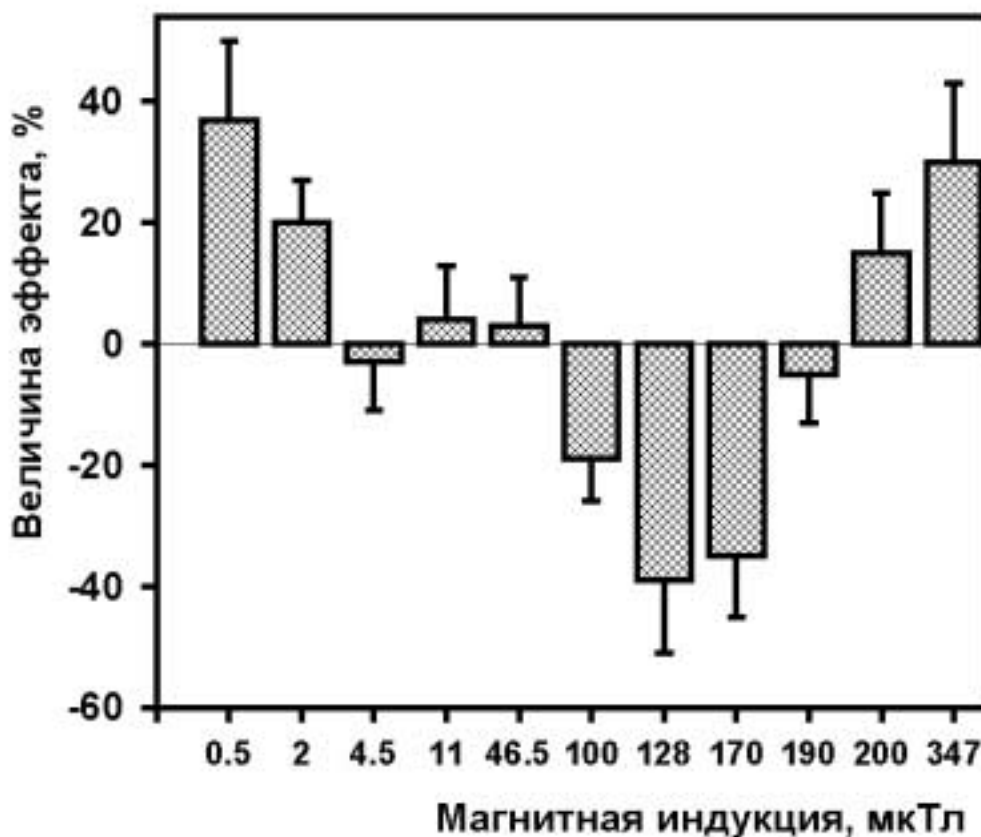


Рис. 1. Зависимость гравитропической реакции отрезков стеблей льна от величины постоянного магнитного поля.

Величина эффекта – относительная разница (%) между средними углами изгиба проростков в опыте и в контроле.

Контрольные образцы находились в поле с величиной магнитной индукции $B_{DC} = 46.5$ мкТл.

Литература.

1. Белова Н.А., Леднев В.В. // Биофизика. 2000. Т...., вып... С.
2. Белова Н.А., Леднев В.В. // Биофизика. 2000. Т...., вып... С.
3. Lednev V.V. // Bioelectromagnetic. 1991. V. 12. P. 71-75.
4. Леднев В.В. // Биофизика. 1996. Т. 41, вып. 1. С. 224-232.
5. Шувалова Л.А., Островская М.В., Сосунов Е.А., Леднев В.В. // ДАН СССР. 1991. Т. 317. С. 227-230.
6. Markov M.S., Pilla A.A. // Bioelectrochem. Bioenerg. 1997. V. 43 P. 233-238.
7. Леднев В.В., Сребницкая Л.К., Ильясова Е.Н., Рождественская З.Е., Климов А.А., Белова Н.А., Тирас Х.П. // Биофизика 1996. Т. 41, вып. 4. С. 815-825.
8. Kato R. // Plant Cell Physiol. 1990. V. 31, № 4. P. 565-568.
9. Kato R., Kamada H., Asashima M. // Plant Cell Physiol. 1989. V. 30, № 4. P. 605-608.
10. Говорун Р.Д., Данилов В.И., Фомичева В.М., Белявская Н.А., Зинченко С.Ю. // Биофизика. 1992. Т.37, вып. 4. С. 738-744.
11. Фомичева В.М., Говорун Р.Д., Данилов В.И. // Биофизика. 1992. Т. 37, вып. 4. С. 745-749.
12. Фомичева В.М., Заславский В.А., Говорун Р.Д., Данилов В.И. // Биофизика. 1992. Т. 37, вып. 4. С. 750-758.
13. Белявская Н.А., Фомичева В.М., Говорун Р.Д., Данилов В.И. // Биофизика. 1992. Т. 37, вып. 4. С. 759-768.
14. Сытник К.М., Кордюм Е.Л., Недуха Е.М., Сидоренко П.Г., Фомичева В.М. Растительная клетка при изменении геофизических факторов. К.: Нукова думка, 1984. 136 с.
15. Лебедев С.И., Баранский П.И., Литвиненко Л.Г., Шиян Л.Т. // Электронная обработка металлов. 1977. № 3. С. 71-73.