

46. Kera Y., Komura S., Kiriya T., Inoue K. Effects of γ -Glutamyltranspeptidase inhibitor and reduced glutathione on renal acetaldehyde levels in rats // Biochem. Pharmacol. 1985. V.34, №20. P. 3781–3783.

47. Konishi Y., Kakimoto Y. Formation of γ -Glutamylhistamine from histamine in rat brain // J. of Neurochem. 1976. V.27, №6. P. 1461–1463.

48. Kristenson H., Trell E., Fex G., Hood B. Serum γ -glutamyltransferase: statistical distribution in a

middle-age male and Evaluation of Alcohol habits in individuals with elevated levels // Preventive medicine. 1980. V.9, №1. P.108–119.

49. Reyes E. Rat brain γ -glutamyltranspeptidase: effect of alcohol // Res. Commun. Chem. Pathol. And Pharmacol. 1978. V.21, №1. P.145–148.

50. Tate S.S. and Meister A. Interaction of γ -glutamyltranspeptidase with amino acids, dipeptides, and derivatives and analog glutathione // J. Biol.Chem. 1974. V.249. P.7593–7602.

Поступила в редакцию 25.08.2016

УДК 581.198:58.037

Влияние предпосевной обработки семян лука дудчатого (*Allium fistulosium* L.) постоянным магнитным полем на физиологические и биохимические характеристики его проростков

М.М. Шашурин

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск

Показано влияние различных экспозиций предпосевной обработки семян лука дудчатого (*Allium fistulosium* L.) комбинированным постоянным магнитным полем (КПМП) на физиологические и биохимические показатели его проростков. Выявлено, что предпосевная обработка семян лука дудчатого КПМП ($B=50$ мкТл) вызывала отрицательный геотропизм у проростков. Длина корешка пророста достоверно снижается, относительно контрольного значения, после обработки семян КПМП полем с различными экспозициями (от 1 до 24 ч). Воздействие магнитным полем на семена вызвало в проростках сильное снижение пероксидазной активности и содержания низкомолекулярных антиоксидантов на фоне увеличения интенсивности перекисного окисления липидов. Исследованные параметры магнитного поля изменяют содержание фотосинтетических пигментов в проростках лука дудчатого.

Ключевые слова: физиология растений, магнитотропизм, антиоксиданты, магнитное поле.

Effect of Pre-Sowing Treatment of Bunching Onion (*Allium Fistulosium* L.) Seeds by Direct Magnetic Field on Physiological and Biochemical Characteristics of Its Seedlings

M.M. Shashurin

Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk

The article describes the influence of various pre-exposure treatment of onion seeds on physiological and biochemical indicators of its seedlings. It was revealed that pre-sowing onion seeds combined magnetic field ($B=50\mu T$) causes negative geotropism in seedlings. The length of the seedlings' root significantly reduced relative to the control value after treatment with the magnetic field with the different exposures. The impact of

magnetic field on onion seeds caused highly decrease in peroxidase activity and the content of low molecular weight antioxidants, with increased lipid peroxidation of its seedlings. The parameters of the magnetic field change the content of photosynthetic pigments in seedlings of Allium fistulosum L.

Key words: plant physiology, magnetotaxis, antioxidants, magnetic field.

В современной научной печати все чаще стали появляться сообщения о действии магнитных полей (МП) малой интенсивности на биологические и физико-химические объекты [1,2]. Речь идет о полях, интенсивность которых сопоставима с магнитным полем Земли или слабее его (~50 мкТл). Большинство экспериментов по изучению влияния слабых постоянных МП на биообъекты выполнены при использовании полей, индукция которых составляла десятки микроТесла, и проводились на фоне сопоставимого по величине постоянного МП, сравнимого с геомагнитным полем. Также имеются публикации, свидетельствующие о том, что МП нанотеслового диапазона способны запускать выраженные биологические эффекты и влиять на протекание процессов в простых физико-химических системах [3]. Вышеупомянутые эффекты особенно интересны, так как не могут быть объяснены с помощью тривиального физического объяснения в связи с очень малой мощностью используемых полей. Примером такого действия МП является реакция ионного тока, пропускаемого через водный раствор ряда аминокислот при воздействии на него магнитных полей с очень слабой переменной компонентой (20–140 нТл; 2–8 Гц) на циклотронных частотах этих аминокислот [4].

В данной работе представлены характеристики биохимических и физиологических показателей проростков лука дудчатого при предпосевной обработке его семян комбинированным постоянным магнитным полем. Комбинированное магнитное поле – это наложенные друг на друга искусственно созданное и естественное геомагнитное поле Земли.

Материалы и методы

Объектами исследования служили семена и проростки лука дудчатого (*Allium fistulosum* L.), сорт – «уральский семейный». Семена лука проращивали в климатоканнере на чашках Петри с фильтровальной бумагой ($d=110$ мм; по 50 шт. в каждой чашке) при температуре 20–25°C, 10-часовом световом периоде в сутки. Эксперимент проводили в четырех опытных вариантах: замоченные на сутки в дистиллированной воде семена обрабатывали постоянным магнитным полем с индукцией 50 мкТл в течение 1, 4, 6 и 24 ч. Семена контрольных образцов проращивали в идентичных условиях, но при фоновых значениях (13–15 нТл) магнитного поля.

Для создания постоянного магнитного поля высокой однородности использовали катушки Гельмгольца – систему из двух одинаковых катушек, расположенных на одной оси и на расстоянии, равном их среднему радиусу. Магнитную индукцию в центре системы рассчитывали по формуле [5]

$$B = \mu_0 \cdot \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \frac{I \cdot N}{R},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,2566 \cdot 10^{-6}$ Гн/м – магнитная постоянная; N – число витков в каждой катушке; I – электрический ток в катушках; R – средний радиус катушки.

Лабораторная установка для создания однородного магнитного поля состояла из двух катушек системы Гельмгольца, соединенных последовательно (начало обмотки второй катушки являлось окончанием обмотки первой). Катушки располагались на одной оси на расстоянии, равном их среднему радиусу, вдали от предметов из материалов магнетиков во избежание искажения однородности и значений создаваемой магнитной индукции. На центральной оси в центре между катушками располагались объекты исследования, подвергавшиеся воздействию МП. Вектор магнитного поля катушек Гельмгольца совпадал с вектором магнитного поля Земли, тем самым образуя комбинированное поле.

Всхожесть проростков и их выживаемость определяли на 8-й и 25-й день соответственно. Средние длины корешков и проростков определяли на 10-й день эксперимента. Определение суммарного содержания низкомолекулярных антиоксидантов (НМАО) проводили по методике [6], основанной на окислении антиоксидантов хлоридом железа (III). При этом FeCl_3 восстанавливался до FeCl_2 , количество которого измеряли по изменению интенсивности окрашивания раствора при добавлении о-фенантролина ($\epsilon = 52,8/(\text{мМ} \cdot \text{см})$, $\lambda = 510$ нм).

Активность пероксидазы (ПОК; КФ 1.11.1.7) определяли по увеличению оптической плотности за счет образования окрашенного продукта окисления о-дианизидина ($\epsilon=30/(\text{мМ} \cdot \text{см})$) в течение 1 мин при $\lambda=460$ нм [7]. Интенсивность процессов перекисного окисления липидов определяли по накоплению окрашенного комплекса малонового диальдегида (МДА) с тиобарбитуровой кислотой ($\epsilon=155/(\text{мМ} \cdot \text{см})$, $\lambda=532$ нм) [8].

Все измерения были выполнены в 4 биологических и аналитических повторностях. Результаты экспериментов представлены в виде средней арифметической величины и ее стандартной ошибки. Сравнение средних значений выборок проводили методом ANOVA. Значимость отличий от контроля определяли, используя критерий Даннета для множественных сравнений при уровне $p < 0,05$. Расчеты проводили с помощью пакета AnalystSoft, StatPlus (программа статистического анализа, v.2007).

Результаты и обсуждение

Известно, что воздействие магнитными полями на растения может вызывать отрицательный геотропизм у растений [9]. Нами было зафиксировано проявление отрицательного геотропизма у проростков лука дудчатого при предпосевной обработке его семян постоянным магнитным полем с индукцией $B=50$ мкТл (рис 1). На рис. 1, а показан контрольный образец (семена не обрабатывались магнитным полем), на нем видно, что корешки проростков стелятся по фильтровальной бумаге или вырастают в нее, при этом нет ни одного ветвящегося. В экспериментальном образце (рис. 1, б) много ветвящихся корешков, при этом проростки либо лежат на фильтровальной бумаге, либо изогнуты таким образом, что корешки оказываются направленными вверх.

Известно, что подобные гравитропические реакции появляются и у других растений, находящихся в постоянном магнитном поле микротеслового диапазона, и степень эффекта зависит от вектора направления поля по отношению к проростку [10].

Показано, что количество проростков в чашке, имеющих гравитропическую реакцию, отрицательно коррелирует со средней длиной ко-

решка ($r=-0,9$) и не имеет корреляции с длиной проростка ($r=+0,4$). Вероятно, это связано с неспособностью висящих в воздухе корешков поглощать достаточное количество воды из субстрата.

Всхожесть семян лука дудчатого, подвергшихся предпосевной обработке магнитным полем, достоверно увеличивалась на 12% только при 6-часовой экспозиции воздействия магнитным полем (таблица).

Выживаемость проростков (на 25-е сутки) носила немонотонный характер относительно времени экспозиции предпосевной обработки семян. Статистически достоверно выживаемость проростков уменьшалась при воздействии на семена магнитного поля в течение 1 и 24 ч на 15 и 23% соответственно, а при 6-часовой экспозиции этот показатель увеличился на 13%.

Длина корешка пророста лука дудчатого достоверно снижается на 23–62 %, относительно контроля, после обработки его семян магнитным полем с различными экспозициями. А длина проростка, наоборот, была выше контрольного значения во всех вариантах на 36–63 %. Вероятно, в данных условиях срабатывает некий компенсаторный механизм, сохраняющий общую длину растения неизменной. На это указывает то, что общая длина корешка и проростка во всех вариантах опыта и контроля варьирует в небольшом диапазоне от 4,0 до 4,8 см.

Согласно имеющимся представлениям, некоторые ферменты могут проявлять магниторецепторные свойства, изменяя свою активность при воздействии магнитных полей [11]. Кроме того, внешние магнитные поля оказывают влияние на образующиеся в процессе метаболизма радикальные пары, приводя к нарушению электронного транспорта и образованию активных форм кислорода [12]. В связи с чем нами изуче-



а



б

Рис. 1. 20-дневные проростки лука дудчатого: а – контрольный образец; б – образец, семена которого были подвергнуты предпосевной обработке постоянным магнитным полем

Физиологические показатели семян и проростков дудчатого лука (*Allium fistulosum* L.) после предпосевной обработки постоянным магнитным полем с индукцией 120 мкТл

Время экспозиции, ч	Количество проростков, проявляющих отрицательный геотропизм, %	Всхожесть, %	Выживаемость, %	Длина на 7-й день, см	
				корешка	проростка
К	2,0±0,1	52,7±1,8	52,0±2,0	2,1±0,2	2,2±0,3
1	12,2±0,5	56,7±2,4	44,0±2,3*	1,4±0,1	3,4±0,2
4	23,7±1,4	54,0±2,3	49,3±1,8	1,0±0,1	3,1±0,1
6	36,0±2,8	59,0±3,1*	58,8±2,1*	1,0±0,1	3,0±0,1
24	41,9±3,9	46,0±5,1	40,7±0,7*	0,8±0,1	3,2±0,2

*p<0,05.

но влияние постоянного магнитного поля на интенсивность перекисного окисления липидов по накоплению малонового диальдегида и содержание низкомолекулярных антиоксидантов, а также активность пероксидазы в проростках лука дудчатого. На рис. 2 показано, что при предпосевной обработке семян лука постоянным магнитным полем (экспозиция 4–24 ч) содержание МДА статистически достоверно увеличивалось в клетках проростков в 1,6–1,9 раза, а активность пероксидазы, наоборот, снижалась в 1,4–2,5 раза при экспозициях 1–24 ч, как и содержание НМАО – в 1,7–5,0 раз. Полученные нами данные по содержанию НМАО в проростках противоречат результатам [13] с соавторами, изучавшими накопление фенольных соединений в проростках чабера горного (*Satureja bachtiarica*) при воздействии постоянного магнитного поля. Вероятно, это связано с видоспецифичностью реакции разных организмов на магнитное поле.

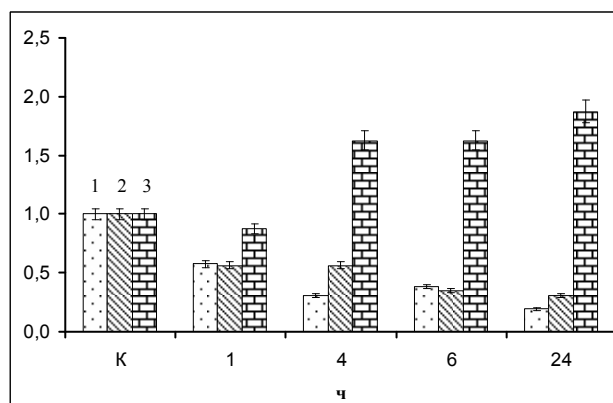


Рис. 2. Нормированные по отношению к контролю значения содержания НМАО (1), активности пероксидазы (2), накопления МДА (3) в тканях проростков лука дудчатого после предпосевной обработки его семян различными экспозициями постоянного магнитного поля B=50 мкТл

Проведено измерение содержания хлорофиллов «а», «б» и каротиноидов в проростках лука дудчатого, семена которого подверглись пред-

посевной обработке постоянным магнитным полем с различными экспозициями. Показано, что при повышении времени воздействия магнитным полем на семена происходит немонотонное изменение общего содержания хлорофиллов и каротиноидов в проростках лука, а именно, при одночасовом воздействии наблюдалось снижение содержания фотосинтетических пигментов: на 30% хлорофилла и на 20% каротиноидов (рис.3). 4- и 6-часовые экспозиции магнитного поля вызвали повышение содержания хлорофиллов на 10–20% и каротиноидов на 20–30%. Суточное воздействие магнитным полем на семена снизило содержание пигментов в проростках: на 50% хлорофиллов и на 30% каротиноидов.

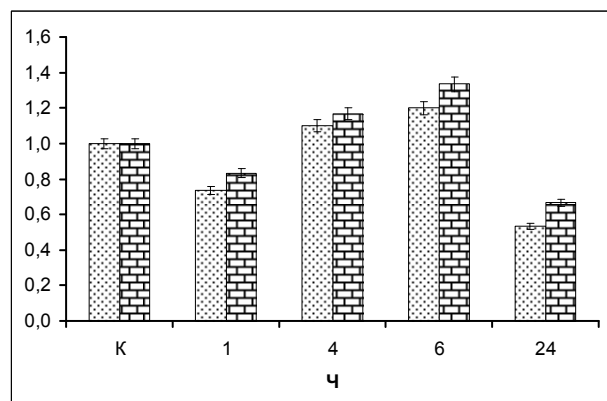


Рис. 3. Нормированные по отношению к контролю значения содержания хлорофиллов «а», «б» и каротиноидов в проростках лука дудчатого после предпосевной обработки его семян различными экспозициями постоянного магнитного поля B=50 мкТл

Выводы

Предпосевная обработка семян лука дудчатого комбинированным магнитным полем (наложенными друг на друга искусственного B=50 мкТл и естественного геомагнитного поля 20–50 мкТл) вызывала отрицательный геотропизм у проростков, при этом количество таких проростков прямо пропорционально времени экспозиции. Изменение показателей всхожести и

выживаемости дудчатого лука после воздействия различных экспозиций МП имело разнонаправленный характер, в связи с чем невозможно выявить какие-либо линейные закономерности между этими параметрами и временем предпосевной обработки семян магнитным полем.

Показано, что длина корешка проростка лука дудчатого достоверно снижается относительно контрольного значения после обработки его семян магнитным полем с различными экспозициями. Тогда как длина проростка, наоборот, была выше контрольного значения во всех вариантах. Нами сделано предположение, что в данных условиях срабатывает некий компенсаторный механизм, призванный сохранить общую длину проростка в определенных пределах (4,0–4,8 см).

Воздействие магнитным полем на семена лука дудчатого вызвало в его проростках сильное снижение как пероксидазной активности, так и содержания НМАО на фоне увеличения перекисного окисления липидов, это дает возможность предполагать, что выбранные нами параметры магнитной обработки, несмотря на низкие величины параметров, оказывают выраженное стрессирующее воздействие на исследованное растение.

Используемые нами параметры магнитной обработки семян влияют на содержание фотосинтетических пигментов в проростках лука дудчатого, при этом количественное содержание их зависит от времени экспозиции магнитным полем и может как превышать, так и быть меньше контрольного значения.

Работа выполнена в рамках госзаказа ИБПК СО РАН на 2013–2016 гг., по проекту VI.56.1.5 «Физиолого-биохимические механизмы формирования адаптивного потенциала, устойчивости и продуктивности растительных компонентов экосистем Южной и Центральной Якутии».

Литература

1. Belova N.A., Ermakova O.N., Ermakov A.M. The bioeffects of extremely weak alternating magnetic fields // *The Environmentalist*. 2007. 27. P. 411–416.
2. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей // *Биофизика*. 1996. Т. 41, № 1. С. 224–232.
3. Белова Н.А., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на гравитропизм растений // *Биофизика*. 2001. Т. 46, № 1. С. 118–121.
4. Новиков В.В., Жадин М.Н. Комбинирование действия слабых постоянного и переменного низкочастотного магнитных полей на ионные токи в водных растворах аминокислот // *Биофизика*. 1994. Т. 39, № 1. С. 45–49.
5. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. М.: Оникс 21 век, 2005. 464 с.
6. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Л.: Агропромиздат, 1987. 430 с.
7. Лебедева О.В., Угарова Н.Н., Березин И.В. Кинетическое изучение реакции окисления одианизидии перекисью водорода в присутствии пероксидазы из хрена // *Биохимия*. 1977. Т. 42. С. 1372–1379.
8. Владимиров Ю.А., Арчаков А.И. Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. М.: Наука, 1972. 252 с.
9. Белова Н.А., Ермаков А.М., Знобищева А.В., Сребницкая Л.К., Леднев В.В. Влияние крайне слабых переменных магнитных полей на регенерацию планарий и гравитационную реакцию растений // *Биофизика*. 2010. Т. 55, № 4. С. 704–709.
10. Богатина Н.И., Шейкина Н.В., Кордюм Е.Л. Изменения гравитропической реакции, вызванные постоянным магнитным полем // *Біофізичний вісник*. 2006. Вип. 17(1). С. 78–82.
11. Pazur A., Schimek C. and Galland P. Magnetoreception in microorganisms and fungi // *Centr. Eur. J. Biol.* 2007. № 2. P. 597–659.
12. Galland P. and Pazur A. Magnetoreception in plants // *J. Plant Res.* 2005. V. 118. P. 371–398.
13. Vishki R., F., Majd A., Nejadstarrari T., Arabian S. Effects of electromagnetic field radiation on inducing physiological and biochemical changes in *Satureja bachtiarica* L. // *Iranian Journal of Plant Physiology*. 2012. V. 2 (4). P. 509 – 516.

Поступила в редакцию 08.11.2016