

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА БИОСИСТЕМУ «БАКТЕРИИ *SPHINGOMONAS SP. K1B* – РАСТЕНИЯ ГОРОХА» В УСЛОВИЯХ ГИДРОПОННОЙ КУЛЬТУРЫ

Я.В. Пухальский<sup>1</sup>, Н.И. Воробьев<sup>1</sup>, А.И. Шапошников<sup>1</sup>, В.Н. Пищик<sup>2</sup>, О.В. Свиридова<sup>1</sup>, С.Ю. Толмачев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия, [puhalskyuan@gmail.com](mailto:puhalskyuan@gmail.com)

<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Агрофизический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия, [veronica-bio@rambler.ru](mailto:veronica-bio@rambler.ru)

<sup>3</sup>Автономная некоммерческая организация Международный институт ноосферных технологий, Москва, Россия

**Аннотация.** В условиях стерильной гидропонной культуре изучалось воздействие магнитных полей на механизмы молекулярной сигнализации в биосистеме состоящей из растения гороха посевного сорта Софья и бактерий *Sphingomonas sp. K1B*, активных продуцентов фитогормона ауксина, ингибирующих рост корневой системы. Показано, что на коммуникативные сигналы бактерий и рецепцию их в растениях оказывает влияние внешнее переменное поле. В результате наблюдалась блокировка ингибирующего действия бактерий на растения.

**Ключевые слова:** магнитные поля, растительно-микробные взаимодействия, ауксины, гидропоника

В настоящее время многие аспекты влияния магнитных полей на жизнедеятельность растительных и микробиологических объектов активно изучаются на молекулярном, клеточном и физиологическом уровнях [Бинги, Савин, 2003; Новицкий, Новицкая; 2016; Хомутов, 2004]. Микробиологические исследования направлены на поиск бактерий с внутренним источником магнетизма и проявляющие чувствительность к вектору внешнего магнитного поля [Blakemore, 1975; Evans, 2003; Lang, Schüler, 2006], а также изучается изменение активности ферментов, синтезируемых микроорганизмами, при воздействии магнитных полей [Sahebamei et al., 2007]. Исследуется воздействие электромагнитных полей на транспортные свойства клеточных мембран биологических объектов и на поступление питательных веществ в клетки микробов [Hirano et al., 1998; Potenza et al., 2004]. Изучается также опосредованное влияние магнитных полей на растения через воду [Йулчиев, 2011; Коржаков и др., 2015; Сакмак et al., 2010]. Ряд работ посвящено изучению влияния магнитных полей на сигнальные взаимодействия между микроорганизмами и растением [Galland, Pazur, 2005; Perez et al., 2002]. При этом рассматривается комплементарность пространственных конфигураций (конформаций) сигнальных молекул и рецепторов, необходимых для защищенности микробно-растительных взаимодействий.

**Целью работы** является экспериментальное исследование влияния магнитных полей на микробно-растительные взаимодействия в биосистемах.

**Объекты исследований.** В качестве растительного объекта нами были выбраны растения гороха посевного (*Pisum sativum L.*), сорта Софья (ФГБНУ ВНИИЗБК, г. Орёл). Опыты проводили в условиях стерильной гидропонной культуры, при температуре 22°C, влажности воздуха 80% и освещенности 10000 Лк (16 ч день/8 ч ночь). Протяженность эксперимента составила 12 дней. Семена перед посадкой

скарифицировали и стерилизовали концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в течение 20 мин, затем проращивали в темноте при комнатной температуре в течение 3 суток на стерильных чашках Петри до длины корней 5-10 мм. Проросшие семена высаживали в отверстия платформ, установленных в пластиковые сосуды содержащих стерильный питательный раствор (рН=5,28, ppm<sub>0,5</sub>=158; Eh=+231).

В качестве микробов были взяты бактерии *Sphingomonas* sp. K1B, синтезирующие повышенные концентрации сигнальных молекул (ауксинов). Бактерии интродуцировали в питательный раствор в вариантах № 2, № 4 и № 5. Плотность бактериальных клеток в питательном растворе на начало эксперимента была не более 100 тыс.кл/мл ( $1,7 \cdot 10^7$  КОЕ/мл).

**Физический фактор.** В вариантах №3 и №4 сосуды с растениями помещались (на 15 минут в сутки) в зону воздействия специального (вращающегося) магнитного поля, генерируемое специальным устройством (40...100 мТл). [Тарасенко, Толмачев, 2004]. Также для сравнения был поставлен вариант № 5, где сосуды помещались в поле действие постоянного магнита.

**Схеме опыта.** В каждом из 5-х вариантов опыта выращивалось по 40 растений (4 повторности на вариант – по 8 растений в каждом сосуде). Растения в контрольном варианте №1 не подвергались воздействию бактериального и физического факторов.

**Статистический анализ экспериментальных данных.** Результаты опыта были подвергнуты дисперсионному анализу с помощью программы Excel 2007 (Microsoft Corp., США) и Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США).

**Результаты эксперимента.** Полученные средние значения биомассы соломы и сухих корней, а также доверительных интервалов к средним значениям, представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Средние значения массы корней растений гороха в конце опыта

Вариант	Вес сухих побегов, мг		Вес сухих корней, мг	
	Среднее	±SE	Среднее	±SE
№ 1	40,40	1,60	35,10	2,36
№ 2	28,79	1,88	20,04	3,65
№ 3	46,14	2,17	37,00	3,18
№ 4	40,00	2,28	28,69	2,64
№ 5	35,90	1,67	24,03	1,37

Значения по кислотности (рН), конечного титра бактерий (КОЕ), минерализации питательного раствора (ppm) и редокс-потенциала (Eh) приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Микробиологические и биохимические характеристики питательных растворов по истечении двух недель выращивания растений гороха на гидропонике

Вариант	рН	ppm (0,5)	Eh	Численность бактерий (титр) <i>Sp. K1B</i> на конец опыта	
				x 10 <sup>6</sup> КОЕ/мл	x 10 <sup>7</sup> КОЕ/г корней
№ 1	5,74±0,02	63,5±0,1	209,0±0,1	—	—
№ 2	5,02±0,09	115,1±0,1	248,0±0,1	6,4±0,1	11,5±0,1
№ 3	5,90±0,01	33,5±0,1	178,0±0,1	—	—
№ 4	5,55±0,07	32,5±0,1	189,0±0,1	10,0±0,1	5,2±0,1
№ 5	5,30±0,16	104,3±0,1	211,0±0,1	10,8±0,1	7,6±0,1

Возможно, за счет снижения редокс-потенциала в варианте № 3 за счет омагничивания воды растения быстрее и больше потребляют питательные вещества из раствора и тем самым увеличивают свой рост и биомассу при вегетации.

Подкисление питательного раствора в варианте № 2, вероятно связано с повышением корневой экссудации органических кислот и потреблением их бактериями [Lu et al., 1999].

С помощью жидкостной хроматографии UPLC ACQUITY H-класса (Waters, США) была измерена концентрация органических кислот в растворе под конец опыта (рисунок).

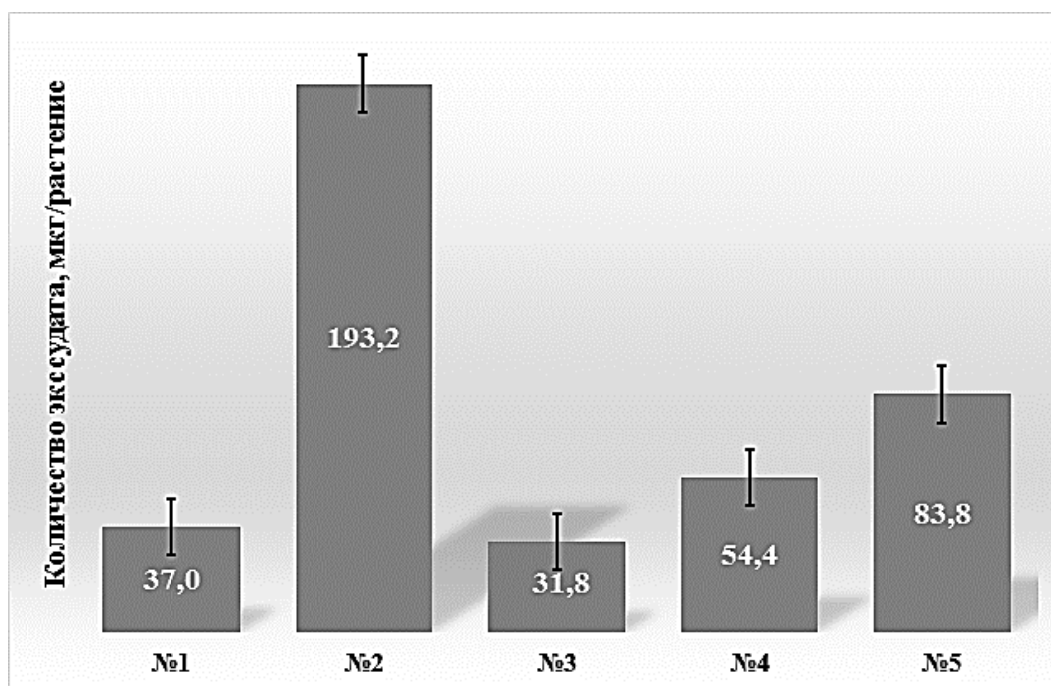


Рисунок. Средние значения корневой экссудации органических кислот у растений гороха посевного Софья в гидропонной культуре.

**Обсуждение результатов.** Наблюдаемые различия в скоростях роста корней и побегов растений в вариантах № 1 и № 2 объясняются наличием микробно-растительных взаимодействий во втором варианте, в результате которых бактериальные сигнальные молекулы (ауксины) активируют синтез этилена в растениях и сдерживают развитие растений. Возрастание масс корней и побегов в варианте № 3 по отношению к контролю демонстрирует опосредованное воздействие магнитных полей через изменение физического состояния воды на повышение интенсивности потоков веществ в трофических цепях микробно-растительной биосистемы [Коржаков и др., 2015]. Дополнительное воздействие магнитного поля в варианте № 4 на питательный раствор с бактериями приводит к блокировке растительно-бактериальных взаимодействий. В результате ингибирование развития растений не происходит. Вариант № 5 показал средние значения между вариантами № 2 и № 4, что не позволяет сделать однозначный вывод о блокировании постоянным магнитом ингибирующего действия бактерии, либо назвать его эффект менее выраженным в сравнении с вариантом № 4.

Таким образом, экспериментально установлен факт влияния магнитных полей на микробно-растительные взаимодействия в биосистемах. Однако данный эксперимент не позволяет точно утверждать, что блокировка воздействия происходит из-за

конформации бактериальных сигнальных молекул или из-за конформации растительных рецепторов.

Для более расширенного изучения особенностей влияния магнитных полей на микробно-растительные взаимодействия необходима аппаратура, контролирующая конформацию органических молекул и частотное сканирование биологических объектов магнитными полями с перестраиваемой частотой колебаний силы магнитного поля.

*Работа выполнена по государственному заданию ФАНО ФГБНУ ВНИИСХМ №0664-2015-0014.*

#### Литература

Бинги В.Н., Савин А.В. Физические проблемы действия слабых магнитных полей на биологические системы // *Успехи физических наук.* – 2003. – № 3. – С. 265–300.

Йулчиев Б. Магнитная вода и урожайность пшеницы // *Достижения науки и техники АПК.* – 2011. – № 7. – С. 37–38.

Коржаков А.В., Лойко В.И., Оськин С.В., Коржакова С.А., Коржаков В.Е. Результаты экспериментальных исследований влияния акусто-магнитного поля на электропроводность и водородный показатель гидропонного раствора // *Научный журнал КубГАУ.* – 2015. – № 110 (06). – С. 1–13.

Новицкий Ю.И., Новицкая Г.В. Действие постоянного магнитного поля на растения. – М.: Наука, 2016. – 352 с.

Тарасенко В.Я., Толмачев С.Ю. Пат. Рос. Федерации. № 2297392 от 28.12.2004 Устройство для обработки воды или водных растворов «Акватор».

Хомутов Г.Б. О возможной роли ионов железа в изменениях состава комплексов ДНК и их магнитных свойств в процессах клеточного цикла // *Биофизика.* – 2004. – № 49 (1). – С. 40–144.

Blakemore R.P. Magnetotactic bacteria // *Science.* – 1975. – No. 190(4212). – P. 377–379.

Çakmak T., Dumlupınar R., Erdal S. Acceleration of germination and early growth of wheat and bean seedlings grown under various magnetic field and osmotic conditions // *Bioelectromagnetics.* – 2010. – No. 31. – P. 120–129.

Evans M.E., Heller F. Environmental magnetism: Principles and applications of environmental magnetism. – San Diego: Academ. Press, 2003. – 296 p.

Galland P., Pazur A. Magnetoreception in plants // *Journal of Plant Research.* – 2005. – No. 118. – P. 371–389.

Hirano M., Ohta A., Abe K. Magnetic field effects on photosynthesis and growth of the cyanobacterium *Spirulina platensis* // *Journal of Fermentation and Bioengineering.* – 1998. – No. 87. – P. 313–316.

Lang C., Schüler D. Biogenic nanoparticles: production, characterization, and application of bacterial magnetosomes // *Journal of Physics Condensed Matter.* – 2006. – No. 18 (38). – P. 2815–2828.

Lu W.L., Cao Y.P., Zhang F.S. Role of root excluded organic acids in mobilization of soil phosphorus and micronutrients // *Chinese Journal of Applied Ecology.* – 1999. – No. 10. – P. 379–382.

Perez J.M., Josephson L., O'Loughlin T., Högemann D., Weissleder R. Magnetic relaxation switches capable of sensing molecular interactions // *Nature Biotechnology.* – 2002. – No. 20. – P. 816–820.

Potenza L., Ubaldi L., De Sanctis R., De Bellis R., Cucchiari L., Dacha M. Effects of a static magnetic field on cell growth and gene expression in *Escherichia coli* // *Mutation Research.* – 2004. – No. 561. – P. 53–62.

Sahebjamei H., Abdolmaleki P., Ghanati F. Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells // Bioelectromagnetics. – 2007. – No. 28. – P. 42–47.

**RESULTS EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF INFLUENCE THE VARIABLE MAGNETIC FIELDS ON THE BIOSYSTEM OF «BACTERIA *SPHINGOMONAS SP. K1B* – PLANTS OF PEAS» IN THE CONDITIONS OF HYDROPONIC CULTURE**

Ya.V. Pukhalsky<sup>1</sup>, N.I. Vorobyov<sup>1</sup>, A.I. Shaposhnikov<sup>1</sup>, V.N. Pishchik<sup>2</sup>, O.V. Sviridova<sup>1</sup>, S.Yu. Tolmachev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg-Pushkin, Russia, *puhalskyyan@gmail.com*

<sup>2</sup>Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russia, *veronica-bio@rambler.ru*

<sup>3</sup>ANSO International Institute of Noosphere Technologies, Moscow, Russia

**Abstract.** In the sterile hydroponic culture study the effect of magnetic fields on the mechanisms of molecular signaling in the biosystem of pea seeds. cultivar Sophia and bacteria *Sphingomonas sp. K1B*, active producers of phytohormone – auxin, inhibiting the growth of the root system. It is shown that on the communicative signals of bacteria and their reception in plants are affected the external alternating field. As a result, blocking of the inhibitory effect of bacteria on plants was observed.

**Keywords:** *magnetic fields, plant-microbial interactions, auxins, hydroponics*