

МОДУЛЯЦИЯ ПРО/АНТИОКСИДАНТНОЙ АКТИВНОСТИ ПЕРОКСИДАЗЫ
В КОРНЯХ ПРОРОСТОВ ГОРОХА, ИНОКУЛИРОВАННЫХ *RHIZOBIUM*
И *AZOTOBACTER*Г.П. АКИМОВА¹, В.В. ВЕРХОТУРОВ², М.Г. СОКОЛОВА¹, С.Л. БЕЛОПУХОВ³¹ Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН;² Иркутский национальный исследовательский технический университет;³ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Изучали влияние инокуляции *Rhizobium leguminosarum*, *Azotobacter chroococcum* и экзогенных фитогормонов на про- и антиоксидантную активности пероксидазной ферментной системы в клетках корней проростков гороха. Показано, что *Rhizobium* увеличивает ИУК-оксидазную функцию пероксидазы в растворимой и связанной с клеточными стенками фракциях фермента, что очевидно, связано с регуляцией начальных этапов инфицирования. Влияние *Azotobacter* на оксидазную и пероксидазную активность фермента имеет одинаковую, но более выраженную, направленность с действием экзогенно добавленной к *Rhizobium* ИУК. Совместная инокуляция *Rhizobium* с *Azotobacter* положительно влияет на рост проростков и вызывает модуляцию в соотношении про- и антиоксидантных функций пероксидазы в разных фракциях фермента в сравнении с инокуляцией только *Rhizobium*.

Ключевые слова: *Rhizobium leguminosarum*, *Azotobacter chroococcum*, корни проростков гороха *Pisum sativum* L., пероксидаза, ИУК-оксидаза, экзогенные фитогормоны ИУК и цитокинины.

Введение

Симбиотические отношения между клубеньковыми бактериями *Rhizobium* и бобовыми растениями демонстрируют высокую степень специфичности, так как только при определенных комбинациях между растением-хозяином и *Rhizobium* возможно установление азотфиксирующего симбиоза. Начальные стадии взаимодействия инициируются каскадом сигналов, которыми симбионты обмениваются между собой, и сопровождаются серией молекулярных взаимодействий. Это требует достаточно глубоких переключений во всем клеточном метаболизме и регулируется, особенно на начальных этапах, фитогормонами. В частности, индолилуксусная кислота (ИУК) и цитокинины (ЦК), в зависимости от соотношения между ними, могут индуцировать и регулировать деление клеток коры корня и формирование корневых клубеньков [3, 13].

Пероксидаза (ПО) является составной частью активной защитной системы растений, в частности, может участвовать в регуляции уровня и активности сигнальных молекул в растении через механизмы синтеза и деградации ИУК, что подтверждается наличием у этого фермента сайтов, специфически связывающих ИУК [4, 9, 14]. Значимость пероксидазы в регуляции взаимодействия с микроорганизмами отмечается и при взаимоотношениях бобовых с *Rhizobium*, [1, 2, 8, 12]. Показано,

что ПО корней проростков гороха участвует в избирательном пропускании ризобий в определенных восприимчивых к ризобияльной инфекции участках корня. Сделан вывод, что ПО и H_2O_2 участвуют в создании целой системы различных сигналов, включая ИУК–ПО путь, направленный на образование эффективной симбиотической ассоциации [1].

Отличительной чертой всех пероксидаз является их полифункциональность в различных биохимических реакциях, а именно в реакциях оксидазного, пероксидазного и оксигеназного окисления субстратов, что позволяет предполагать активное участие их в контроле процессов роста и механизмов формирования ответных реакций растений на действие абиотических и биотических факторов [4, 8]. В частности, при формировании у бобовых растений симбиотических отношений с клубеньковыми бактериями рода *Rhizobium* [1, 2, 4, 7]. Широкая субстратная специфичность пероксидазы предполагает наличие разных механизмов окисления, реализуемых ферментом [9].

Ассоциативные гормонсинтезирующие бактерии, в том числе *Azotobacter* [15, 16], являются широко распространенными компонентами растительно-микробного сообщества и способны влиять на формирование бобово-ризобияльного симбиоза. *Azotobacter* оказывает стимулирующее действие на прорастание семян растений, ускорение их роста, особенно в ранние фазы их развития. Обладает важным фактором подавления развития патогенной микрофлоры [15]. Однако мало сведений о влиянии их на формирование симбиотических отношений бобовых растений с *Rhizobium*.

Цель исследований – изучить влияние инокуляции *Rhizobium leguminosarum* и *Azotobacter chroococcum* на пероксидазную (антиоксидантную) и оксидазную (прооксидантную) функции пероксидазы в клетках корней проростков гороха.

Методика проведения исследований

В работе использовали 2–3 сут. проростки гороха (*Pisum sativum* L.) сорта Аксайский усатый. Инокуляцию проростков проводили суспензией клубеньковых бактерий *Rhizobium leguminosarum* bv. *vicea* L. (штамм CIAM 1026) в концентрации 10^6 кл/мл и ризосферных бактерий-азотофикаторов *Azotobacter chroococcum* (штамм Azd10, № ВКМ В – 2272 Д) – 10^6 кл/мл. Контролем служили неинокулированные проростки гороха.

Для изучения влияния *Azotobacter* на рост корней проростков гороха, инокулированных *Rhizobium* + *Azotobacter*, измеряли длину корня опытных проростков через 24 и 48 ч после обработки и сравнивали ее с длиной корня проростков, инокулированных *Rhizobium*.

Выделение разных форм пероксидазы: растворимой (цитоплазматической), ионно- и ковалентно-связанной с клеточными стенками осуществляли по методу [11] через 1 и 24 ч после инокуляции. Для эксперимента использовали отрезки 5–15 мм от кончика корня, как наиболее восприимчивые к ризобияльной инфекции [2].

Дополнительно определяли влияние экзогенных фитогормонов ИУК (индол-3-уксусной кислоты) 10^{-11} М и БАП (бензиламинопурина) 10^{-9} М на активность ПО (усл. ед. /г сырой массы) и ИУКО (мкг/ мин г сырой массы) в корнях проростков гороха совместно с инокуляцией *Rhizobium* и *Azotobacter*.

Для оценки активности ПО использовали различные субстраты. В качестве субстрата для выявления оксидазной (прооксидантной) функции фермента – ИУК; пероксидазной (антиоксидантной) – орто-дианизидин. Активность пероксидазы регистрировали по увеличению продукта в реакционной смеси по начальной скорости окисления о-дианизидина перекисью водорода [2], ИУКО – по убыли ИУК

в реакционной смеси с реактивом Сальковского по методу [6]. Опыты проводили в трех биологических повторностях. Данные статистически обработаны. В таблицах приведены средние значения и их стандартные ошибки.

Результаты и обсуждение

Показано, что пероксидазная (антиоксидантная) функция фермента под влиянием *Rh. leguminosarum* снижалась в растворимой фракции, возрастала до уровня контрольных растений во фракции ионно-связанной и увеличивалась в ковалентно-связанной с клеточными стенками в отрезках корней проростков гороха уже через 1 ч после инокуляции. Через 24 ч после инокуляции во фракции ионно-связанной с клеточными стенками активность фермента еще более возрастала (табл. 1).

Оксидазная (прооксидантная) функция фермента значительно возрастала и в растворимой, и в ионно-связанной с клеточными стенками фракциях и через 1 ч и особенно через 24 ч. Во фракции ковалентно-связанной с клеточными стенками активность ИУКО была очень низкой.

Таблица 1

Влияние *Azotobacter* и экзогенных ИУК и БАП на активность ПО (усл. ед. /г сырой массы) и ИУКО (мкг/ мин г сырой массы) в корнях проростков гороха, инокулированных *Rhizobium*

Варианты	Время, ч	Растворимая		Ионно-связанная		Ковалентно-связанная	
		ИУКО	ПО	ИУКО	ПО	ИУКО	ПО
<i>Rhizobium</i>	1	1,8±0,03	300,4±22,3	3,6±0,18	426,2±32,0	0,04±0,001	18,1±1,1
	24	3,1±0,08	444,1±32,3	4,2±0,19	861,0±52,3	0,04±0,002	23,5±1,6
<i>Rhizobium</i> + ИУК 10 ⁻¹¹ М	1	3,4±0,10	244,0±14,1	3,6±0,18	519,3±32,4	0,04±0,001	25,7±1,8
	24	3,5±0,18	476,2±34,8	5,5±0,28	896,7±54,1	0,08±0,005	41,7±2,6
<i>Rhizobium</i> + БАП10 ⁻⁹ М	1	1,1±0,05	224,0±12,5	3,8±0,20	433,7±30,0	0,03±0,001	25,7±1,5
	24	1,8±0,08	452,5±32,6	4,4±0,29	647,5±44,3	0,03±0,001	39,2±2,7
<i>Rhizobium</i> + <i>Azotobacter</i>	1	3,6±0,16	361,8±28,3	3,5±0,21	782,1±52,4	0,04±0,001	28,2±1,6
	24	3,7±0,19	488,7±35,4	8,6±0,41	1443±82,8	0,08±0,004	84,7±5,9

Увеличение пероксидазной функции во фракциях ионно- и ковалентно-связанной может быть связано с участием фермента в модификации оболочек как клеток корней, так и корневых волосков при образовании инфекционных нитей. Предполагается, что H₂O₂, присутствующая в инфекционных нитях, может участвовать в перекисном окислении одного из основных компонентов матрикса инфекционной нити арабиногалактанпротеин-экстензина, повышая плотность матрикса нити [10].

Значительное увеличение оксидазной функции фермента уже в течение первых суток после инокуляции во фракциях растворимой и ионно-связанной с клеточными стенками свидетельствует о влиянии *Rhizobium* на метаболизм ИУК, приводящий к снижению ее содержания в клетках корней проростков гороха. Это может менять

соотношение ИУК: цитокинины в сторону последних, что является необходимым для пролиферации клеток при формировании примордия клубенька. В отличие от этого низкая активность ИУКО в ковалентно-связанной фракции фермента, очевидно, сохраняет эндогенное содержание ИУК, необходимое для роста инфекционных нитей и модификации оболочек клеток корней и корневых волосков. Именно с ИУК связывают увеличение пластичности клеточных стенок, способность их к растяжению, так как она участвует в регуляции активности ферментов ее синтеза. Тогда как ИУКО осуществляет окислительное декарбоксилирование ИУК с потерей ауксиновой активности.

Добавление *Azotobacter* в среду выращивания проростков гороха совместно с *Rh. lg.* положительно влияло на рост корней проростков, увеличивая прирост корня на 11,5% через двое суток после инокуляции, по сравнению с вариантом *Rhizobium* (табл. 2).

Таблица 2

Влияние *Azotobacter chroococcum* на скорость роста корней проростка гороха, инокулируемых *Rhizobium leguminosarum*

Ча- сы	Контроль, H ₂ O (исх. дл. 35,0 мм)			<i>Rhizobium leguminosarum</i> (исх. дл. 35,0 мм)			% от контр	<i>Rh. lg. + Azotobacter</i> (исх. дл. 36,5 мм)			% от контр
	Длина корня, мм	При- рост корня, мм	В ро- ста мм/ч	Длина корня, мм	При- рост корня, мм	В ро- ста мм/ч		Длина корня, мм	При- рост корня, мм	В ро- ста мм/ч	
24 ч	46,5±2,3	11,5	0,48	47,2±2,0	12,2	0,51	106	49,8±3,1	13,3	0,55	115/109*
48 ч	59.5±3,3	24,5	0,51	62,0±2,8	27,0	0,56	109	66,6±3,8	30,1	0,63	123/111*

Примечание: *—% от *Rhizobium*

Совместная инокуляция *Rhizobium* с *Azotobacter* увеличивала модуляцию в соотношении про- и антиоксидантных свойств (или функций) пероксидазы в разных фракциях фермента в сравнении с инокуляцией только *Rhizobium*. В растворимой фракции фермента через 1 час после обработки увеличение прооксидантной функции фермента было значительно больше чем антиоксидантной. Во фракции ионно-связанной с клеточными стенками через 1 час после обработки возрастала больше пероксидазная активность, а через 24 часа – оксидазная. Во фракции ковалентно-связанной с клеточными стенками значительно преобладала пероксидазная активность, а оксидазная была очень слабой (табл. 1).

Влияние *Azotobacter* на оксидазную и пероксидазную активности фермента показало одинаковую, но более выраженную, направленность с действием экзогенно добавленной к *Rhizobium* ИУК 10⁻¹¹М.

Добавление БАП 10⁻⁹М, в отличие от *Azotobacter* и ИУК 10⁻¹¹М значительно снижало прооксидантные функции фермента в растворимой фракции и не оказывало влияния, по сравнению с *Rhizobium*, во фракции ионно-связанной ни на оксидазную, ни на пероксидазную активности (табл. 1).

Очевидно, добавление экзогенных ИУК и ЦК и особенно *Azotobacter* меняет соотношение эндогенных фитогормонов, что вызывает модуляцию функций ПО. Результаты исследования показывают, что *Rh. leguminosarum* оказывает влияние на ПО ферментную систему в клетках корней проростков гороха, осуществляя регуляцию прооксидантных и антиоксидантных реакций, очевидно, необходимых на начальных этапах инфицирования корней.

Ризобактерии *Azotobacter chroococcum* положительно влияют на рост проростков растений гороха, а их воздействие на оксидазную и пероксидазную активность ПО имеет одинаковую, но более выраженную направленность с действием экзогенно добавленной к *Rhizobium* ИУК. Увеличение модуляции про- и антиоксидантной активности фермента пероксидазы при совместной инокуляции *Rhizobium* + *Azotobacter* может быть важным компонентом регуляторного механизма при взаимодействии растений с бактериями, так как изменения свойств фермента с оксидазного на пероксидазный могут контролировать уровень фитогормонов ИУК и ЦК и менять их соотношение между собой. Именно увеличение оксидазной функции фермента приводит к окислению ИУК и может изменить соотношение ИУК: ЦК в сторону последних, что важно для деления клеток внутренней коры корня и образования примордий клубеньков и тем самым для установления эффективных взаимоотношений микро- и макросимбионтов.

Таким образом, инокуляция *Rhizobium* и особенно при добавлении *Azotobacter* влияет на специфичность фермента к субстрату, снижает сродство к одному и увеличивает к другому, тем самым меняет функции с прооксидантных на антиоксидантные или наоборот, и участвует в целой системе сигналов, направленных на образование эффективной симбиотической ассоциации.

Библиографический список

1. Акимова Г.П., Верхотуров В.В., Соколова М.Г. Влияние *Azotobacter* на активность пероксидазы и содержание пероксида водорода в корнях проростков гороха, инокулированных *Rhizobium* // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 4. С. 120–125.
2. Акимова Г.П., Верхотуров В.В., Соколова М.Г., Нечаева Л.В., Лузова Г.Б. Изменение активности и каталитических свойств пероксидазы корней гороха на начальных этапах инфицирования *Rhizobium leguminosarum* // Агрохимия, 2004. № 1. С. 86–90.
3. Акимова Г.П., Соколова М.Г. Содержание ЦК на начальных этапах бобово-ризобиального симбиоза при гипотермии // Физиология растений, 2012. Т. 59. № 5. С. 668–673.
4. Бельшикина М.Е. Соя в Центральном Нечерноземье. Монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА. 2012. С. 16–18.
5. Газарян И.Г., Хушпульян Д.М., Тишков В.И. Особенности структуры и механизма действия пероксидаз растений // Успехи биол. химии. – 2006. – Т. 46. – С. 303–322.
6. Гамбург К.З. Биохимия ауксина и его действие на клетки растений. Новосибирск: Наука, 1976. 272 с.
7. Глянько А.К., Акимова Г.П., Макарова Л.Е., Соколова М.Г., Васильева Г.Г. Окислительные процессы на начальных стадиях взаимодействия клубеньковых бактерий (*Rhizobium leguminosarum*) и гороха (*Pisum sativum* L.). Обзор // Прикладная биохимия и микробиология, 2007а. Т. 43. № 5. С. 576–582.
8. Карташева Е.Р., Руденская Г.Н., Юрина Е.В. Полифункциональность растительных пероксидаз и их практическое использование // Сельскохозяйственная биология. 2000. № 5. С. 63–70.
9. Рогожин В.В., Верхотуров В.В., Рогожина Т.В. Пероксидаза: строение и механизм действия. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2004. 200 с.
10. Цыганова А.В., Китаева А.Б., Бревин Н.Дж., Цыганов В.Е. Клеточные механизмы развития симбиотических клубеньков у бобовых растений // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 34–38.

11. Юсупова З.Р., Хайруллин Р.М., Максимов И.В. Активность пероксидазы в различных клеточных фракциях при инфицировании пшеницы *Septoria nodorum* Berk. // Физиология растений. 2006. Т. 53. № 6. С. 910–917.

12. Glyn'ko A.K., Akimova G.P., Sokolova M.G., Makarova L.E., Vasil'eva G.G. The defense and regulatory mechanisms during development of legume–*Rhizobium* symbiosis // Applied Biochemistry and Microbiology, 2007. V. 43. № 3. P. 260–267.

13. Hirsch A.M., Fang Y., Asad S., Kapulnik Y. The role of phytohormones in plant-microbe symbiosis // Plant Soil. 1997. 194. P. 171–184.

14. Mathesius U. Flavonoids induced in cells undergoing nodule organogenesis in white clover are regulators of auxin breakdown by peroxidase // J. Exp. Botany. 2001. V. 52. № 90001. P. 419–426.

15. Sokolova M.G., Akimova G.P. Vaishlya O.B. Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants // Applied Biochemistry and Microbiology, 2011. V.47. № 3. P. 274–278.

16. Sokolova M.G., Akimova G.P., Vaishlya O.B., Vedernikova A. Physiological Research of Efficiency of Biologically Safe Bacterial fertilizers // Journal of Manufacturing Technology Management (JMTM). 2010. V. 21 Iss: 8. P. 956–970.

MODULATION OF PRO / ANTIOXIDANT PEROXIDASE ACTIVITY IN PEA SEEDLING ROOTS INOCULATED WITH *RHIZOBIUM* AND *AZOTOBACTER*

G.P. AKIMOVA¹, V.V. VERKHOTUROV², M.G. SOKOLOVA¹, S.L. BELOPUKHOV³

(¹ Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences;

² Irkutsk National Research Technical University;

³ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy)

The effect of inoculation of Rhizobium leguminosarum, Azotobacter chroococcum and exogenous phytohormones on pro – and antioxidant activity of the peroxidase enzyme system in the cells of seedling roots of pea was studied. It is shown that Rhizobium increases the IAA–oxidase function of peroxidase in soluble and bound to cell walls fractions of the enzyme, which is obviously associated with the regulation of the initial stages of infection. The effect of Azotobacter on the oxidase and peroxidase activity of the enzyme has the same, but more pronounced, orientation with the action of exogenously added to Rhizobium IAA. Joint inoculation of Rhizobium with Azotobacter has a positive effect on the growth of seedlings and causes modulation in the ratio of pro – and antioxidant functions of peroxidase in different fractions of the enzyme in comparison with only Rhizobium inoculation.

Key words: *Rhizobium leguminosarum, Azotobacter chroococcum, the roots of the seedlings of peas Pisum sativum L., peroxidase, IAA–oxidase, exogenous phytohormones IAA, cytokinin.*

References

1. Akimova G.P., Verkhoturov V.V., Sokolova M.G. Vliyaniye Azotobacter na aktivnost' peroksidazy i sodержaniye peroksida vodoroda v kornyakh prorostkov gorokha, inokulirovannykh Rhizobium [Azotobacter effect on the peroxidase activity and hydrogen peroxide content in pea seedling roots inoculated with Rhizobium] // Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2017. Vol. 7. No. 4. Pp. 120–125.

2. *Akimova G.P., Verkhoturov V.V., Sokolova M.G., Nechayeva L.V., Luzova G.B.* Izmeneniye aktivnosti i kataliticheskikh svoystv peroksidazy korney gorokha na nachal'nykh etapakh infitsirovaniya *Rhizobium leguminosarum* [Changes in the activity and catalytic properties of peroxidase pea roots at the initial stages of infection with *Rhizobium leguminosarum*] // *Agrokhimiya*, 2004. No. 1. Pp. 86–90.

3. *Akimova G.P., Sokolova M.G.* Soderzhaniye TSK na nachal'nykh etapakh bobovo-rizobial'nogo simbioza pri gipotermii [The content of cytokinins at the initial stages of legume – rhizobial symbiosis under hypothermia] // *Fiziologiya rasteniy*, 2012. Vol. 59. No. 5. Pp. 668–673.

4. *Belyshkina M.Ye.* Soya v Tsentral'nom Nechernozem'ye [Soybean growing in the Central Chernozem region]. Monograph. M.: Izd-vo RGAU-MSKHA. 2012. Pp. 16–18.

5. *Gazaryan I.G., Khushpul'yan D.M., Tishkov V.I.* Osobennosti struktury i mekhanizma deystviya peroksidaz rasteniy [Features of the structure and action mechanism of plant peroxidases] // *Uspekhi biol. khimii.* – 2006. – Vol. 46. – Pp. 303–322.

6. *Gamburg K.Z.* Biokhimiya auksina i yego deystviye na kletki rasteniy [Auxin biochemistry and its effect on plant cells]. Novosibirsk: Nauka, 1976. 272 p.

7. *Glyan'ko A.K., Akimova G.P., Makarova L.Ye., Sokolova M.G., Vasil'yeva G.G.* Okislitel'nyye protsessy na nachal'nykh stadiyakh vzaimodeystviya kluben'kovykh bakteriy (*Rhizobium leguminosarum*) i gorokha (*Pisum sativum* L.). Obzor [Oxidative processes at the initial stages of the interaction of nodule bacteria (*Rhizobium leguminosarum*) and peas (*Pisum sativum* L.). Review] // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*, 2007a. Vol. 43. No. 5. Pp. 576–582.

8. *Kartasheva Ye.R., Rudenskaya G.N., Yurina Ye.V.* Polifunktional'nost' rastitel'nykh peroksidaz i ikh prakticheskoye ispol'zovaniye [Polyfunctionality of plant peroxidases and their practical use] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2000. No. 5. Pp. 63–70.

9. *Rogozhin V.V., Verkhoturov V.V., Rogozhina T.V.* Peroksidaza: stroyeniye i mekhanizm deystviya [Peroxidase: its structure and mechanism of action]. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2004. 200 p.

10. *Tsyganova A.V., Kitayeva A.B., Brevin N. Dzh., Tsyganov V.Ye.* Kletochnyye mekhanizmy razvitiya simbioticheskikh kluben'kov u bobovykh rasteniy [Cellular mechanisms of the development of symbiotic nodules in legumes] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2011. No. 3. Pp. 34–38.

11. *Yusupova Z.R., Khayrullin R.M., Maksimov I.V.* Aktivnost' peroksidazy v razlichnykh kletochnykh fraktsiyakh pri infitsirovanii pshenitsy *Septoria nodorum* Berk. [Peroxidase activity in various cellular fractions when infected with wheat *Septoria nodorum* Berk.] // *Fiziologiya rasteniy*. 2006. Vol. 53. No. 6. Pp. 910–917.

12. *Glyn'ko A.K., Akimova G.P., Sokolova M.G., Makarova L.E., Vasil'eva G.G.* The defense and regulatory mechanisms during development of legume–*Rhizobium* symbiosis // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2007. V. 43. No. 3. Pp. 260–267.

13. *Hirsch A.M., Fang Y., Asad S., Kapulnik Y.* The role of phytohormones in plant-microbe symbiosis // *Plant Soil*. 1997. 194. Pp. 171–184.

14. *Mathesius U.* Flavonoids induced in cells undergoing nodule organogenesis in white clover are regulators of auxin breakdown by peroxidase // *J. Exp. Botany*. 2001. Vol. 52. No. 90001. Pp. 419–426.

15. *Sokolova M.G., Akimova G.P., Vaishlya O.B.* Effect of phytohormones synthesized by rhizosphere bacteria on plants // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2011. Vol. 47. No. 3. Pp. 274–278.

16. *Sokolova M.G., Akimova G.P., Vaishlya O.B., Vedernikova A.* Physiological Research of Efficiency of Biologically Safe Bacterial fertilizers // *Journal of Manufacturing Technology Management (JMTM)*. 2010. Vol. 21 Issue 8. Pp. 956–970.

Акимова Галина Петровна – к.б.н., с.н.с., Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН (664033, Иркутск-33, ул. Лермонтова, 132, а/я 317; тел.: (3952) 42-82-56; e-mail: akimova@sifibr.irk.ru).

Верхогуров Василий Владимирович – д.б.н., проф. кафедры химии и пищевой технологии Иркутского национального исследовательского технического университета (664074, Иркутск, ул. Лермонтова 83; тел.: (3952) 40-59-81; e-mail: biovervv@mail.ru).

Соколова Марина Гавриловна – к.б.н., с.н.с., Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН (664033, Иркутск-33, ул. Лермонтова, 132, а/я 317; тел.: (3952) 42-82-56; e-mail: SokolovaMG@sifibr.irk.ru).

Белопухов Сергей Леонидович – д.с.-х.н., проф. кафедры химии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49; тел.: (499) 976-32-16; e-mail: belopuhov@mail.ru).

Galina P. Akimova – Senior Research Associate, PhD (Bio), Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS (Lermontova Str. 132, Irkutsk, 664033; phone (3952) 42-82-56; e-mail: akimova@sifibr.irk.ru).

Vasyli V. Verhoturov – DSc (Bio), Professor, Department of Chemistry and Food Chemistry of Irkutsk National Research Technical University (Lermontova Str. 83, Irkutsk, 664074; phone (3952) 40-59-81, e-mail: biovervv@mail.ru).

Marina G. Sokolova – Senior Research Associate, PhD (Bio), Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS (Lermontova Str. 132, Irkutsk, 664033; phone (3952) 42-82-56; e-mail: SokolovaMG@sifibr.irk.ru).

Sergey L. Belopukhov – DSc (Ag), Professor, Department of Chemistry, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550; phone: (499) 976-10-41; e-mail: belopuhov@mail.ru).