



УДК 581.1:58.07.071

## Изменение физиологических характеристик роста растений под воздействием ризосферных бактерий

М. Г. Соколова, Г. П. Акимова, Л. В. Нечаева

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск  
E-mail: [SokolovaMG@sifibr.irk.ru](mailto:SokolovaMG@sifibr.irk.ru)

**Аннотация.** Исследовали влияние бактериальных биопрепаратов Азотобактерина, Фосфобактерина, Кремнебактерина на физиологические параметры роста растений. Показаны изменения процессов метаболизма в начальный период воздействия препаратов. При их применении повышалась энергия прорастания семян и скорость роста проростков. Дано обоснование эффективности ассоциативных взаимодействий агробактерий биопрепаратов с растениями на основе функциональной активности одного из стрессовых ферментов – пероксидазы.

**Ключевые слова:** бактериальные биоудобрения, прорастание семян, скорость роста проростков, активность пероксидазы.

Растения находятся в тесных взаимосвязях с почвенными микроорганизмами, эффект от которых может быть нейтральным, положительным или вредным [3].

Применение бактериальных биопрепаратов на основе ассоциативной микрофлоры – это один из экологически безопасных методов биологического земледелия. В последние годы довольно активно исследуются стимулирующие рост растений ризобактерии (plant growth promoting rhizobacteria, или PGPR). Современная микробиология на практике доказала, что с помощью новых технологий, в частности, эффективных микроорганизмов (ЭМ) можно управлять плодородием, продуктивностью почв и качеством агропродукции [6]. Однако влияние бактериальных препаратов на растительные объекты остается недостаточно изученным. Выяснение тонких механизмов формирования и функционирования уникальных биологических систем – ассоциаций бактерий и растений – представляет значительный фундаментальный интерес [3]. Эти исследования необходимы также для решения практических задач дальнейшего улучшения эффективности применения подобных биопрепаратов в сельскохозяйственном производстве.

Цель исследования – изучение физиологических параметров роста растений на ранних стадиях развития при воздействии бактериальных биопрепаратов Азотобактерина, Фосфобактерина, Кремнебактерина.

### Материал и методы

Бактериальные препараты Азотобактерин, Фосфобактерин и Кремнебактерин являются жидкими концентратами эффективных штаммов живых почвенных бактерий трех видов. Это экологически безопасные биоудобрения для повышения урожайности растений и улучшения плодородия почвы [1]. Азотобактерин – препарат на основе бактерий *Azotobacter chroococcum* – свободноживущих азотфиксаторов. Это новый уникальный штамм бактерий, преимуществом которого является способность к продуцированию фитогормонов. Фосфобактерин – препарат на основе бактерий *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*, который переводит фосфаты из нерастворимой формы в доступную для растений, стимулирует корнеобразование. Кремнебактерин – препарат на основе бактерий *Bacillus mucilaginosus*, которые выделяют фермент силиказу и поставляют обменные формы кремния и других макро- и микроэлементов в ризосферу растений. Препараты разработаны на основе оригинальных штаммов бактерий в Томском госуниверситете, апробированы в хозяйствах Томской области и предложены для испытаний в Иркутской области на базе СИФИБР СО РАН.

Объектом исследования служили проростки гороха (*Pisum sativum* L.) и огурца (*Cucumis sativus* L.). Проведены модельные эксперименты по влиянию разных концентраций биопрепаратов на ростовые параметры: энергию про-

растения семян, скорость роста проростков. Активность водорастворимой пероксидазы определяли по начальной скорости окисления о-дианизида ( $\lambda=440$  нм) перекисью водорода в 0,1 М натрий-фосфатном буфере, pH 7,0 [4]. Рабочий раствор препаратов, рекомендованный для полевых опытов – 0,5 мл/л. Титр бактерий в рабочем растворе 106 кл/мл.

Статистическая обработка результатов сделана методом дисперсионного анализа. Повторность опытов 3-кратная.

### Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований показано, что биопрепараты Азотобактерин, Фосфобактерин, Кремнебактерин повышали ростовые процессы растений. На прорастание семян огурца и гороха максимальное влияние препараты оказали в концентрации 2 мл/л. Количество непроросших семян огурца через трое суток воздействия биопрепаратов уменьшилось на 28 % по сравнению с контролем, гороха – на 20 %. Хороший эффект показали препараты и в концентрации 1 мл/л: число непроросших семян снизилось на 14 %. Прирост корня и скорость роста проростков гороха повышались максимально на 25 % при концентрации Азотобактерина 1 мл/л (табл. 1). Влияние трех препаратов на проростки гороха при этой концен-

трации оказало еще больший эффект: скорость роста их возросла на 32 %. Проростки огурцов и гороха при воздействии всех трех препаратов были более крепкими, с хорошо развитыми корневыми волосками на большей поверхности корня и сильными боковыми корнями в отличие от контроля.

Отмечается, что бактериальные препараты могут способствовать росту растений за счет выделения микроорганизмами биологически активных веществ [11; 10]. Кроме того, известно, что кремний оказывает стимулирующее влияние на развитие корневой системы, скорость роста, массу растений. Важная роль в улучшении фосфорного питания растений принадлежит фосфатмобилизующим микроорганизмам [1; 7].

Пероксидаза (КФ 1.11.1.7) – стрессовый фермент, одним из первых реагирующий на любые внешние воздействия, который, как отмечается, может являться маркером физиологического состояния растения при взаимодействии со средой. Повышение активности пероксидазы – часть защитного механизма, присутствующая всем растениям [2]. При воздействии разных концентраций биопрепаратов на проростки наблюдали снижение активности пероксидазы от 10 до 25 % (табл. 2).

Таблица 1

Влияние бактериальных биопрепаратов на ростовые показатели корней проростков гороха через 24 ч после обработки

Вариант, концентрация	Прирост, мм	Скорость роста, мм/ч	% от контроля
Контроль, H <sub>2</sub> O	13,2±0,7	0,55±0,01	100
Az 0,5 мл/л	14,7±0,9	0,61±0,01	111,4
Az 1 мл/л	16,5±1,1	0,69±0,03	125,0
Az 2 мл/л	15,0±1,0	0,62±0,02	113,6
АРК 1 мл/л	17,5±1,0	0,73±0,03	132,6
АРК 2 мл/л	13,4±0,7	0,56±0,01	101,5

Примечание: Az – Азотобактерин; АРК – сумма трех препаратов Азотобактерин, Фосфобактерин, Кремнебактерин

Таблица 2

Активность водорастворимой пероксидазы в корнях проростков гороха при обработке бактериальными биопрепаратами

Возраст проростков	Вариант, концентрация	Активность пероксидазы, Е/мин г сырой массы	% от контроля
2 сут 22 °С	Контроль, H <sub>2</sub> O	133,59±5,71	100
	Az 0,5 мл/л	121,43±4,45	90,9
	Az 2 мл/л	102,30±3,33	76,6
	АРК 1 мл/л	101,95±3,72	76,3
	АРК 2 мл/л	97,60±2,61	73,1

Примечание: Az – Азотобактерин; АРК – сумма трех препаратов Азотобактерин, Фосфобактерин, Кремнебактерин

Было сделано предположение, что растение при снижении активности фермента не включает свои защитные механизмы, т. е. не реагирует на бактерии биопрепаратов как на чужеродные, а воспринимает их как благоприятных для себя партнеров ассоциативного симбиоза.

Ранее нами показано, что при действии данных бактериальных препаратов на растения лука происходило значительное снижение активности фермента [8], при этом повышалась устойчивость растений к низкой температуре и патогенным воздействиям [9]. Подобную закономерность наблюдали в реакциях пшеницы на инокуляцию эндофитным штаммом *Bacillus subtilis* [5]. Авторы, основываясь на защитных функциях таких оксидаз, как пероксидаза, полагают, что во взаимоотношениях эндофита с растением активация этих ферментов хозяина «нежелательна» для микроорганизма. В их экспериментах активность пероксидазы не повышалась или снижалась, что свидетельствует, скорее, не о защитном, а об адаптивном действии эндофита на растение. При этом повышалась устойчивость обработанных растений к засолению и осмотическому стрессу. Авторы предполагают, что снижение активности пероксидазы может повышать чувствительность в растительных клетках других сигнальных систем. Кроме того, более низкая активность пероксидазы, очевидно, способствует ростовой активности растений [2].

### Заключение

Таким образом, комплексное применение бактериальных биопрепаратов способствует повышению ростовых процессов у растений, влияет на физиологические характеристики роста корня: активирует прорастание семян (повышает энергию прорастания), повышает скорость роста проростков, стимулирует корнеобразование, т. е. увеличивает всасывающую поверхность корня, что способствует лучшему питанию и росту растений. Сделано предположение, что снижение активности пероксидазы в проростках при воздействии биопрепаратов, вероятно, свидетельствует о положительной реакции растения на ассоциативные бактерии, что может служить маркерной реакцией на внешние воздействия.

## Change of plant growth physiological characteristics under the impact of rhizospheric bacteria

M. G. Sokolova, G. P. Akimova, L. V. Nechayeva

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS, Irkutsk

**Abstract.** The study was dedicated to the impact of bacterial biopreparations Nitrogen-bacterin, Phospho-bacterin and Silicon-bacterin on physiological parameters of plants at the initial stage of growth. Biopreparations enhanced

### Литература

1. Вайшла О. Б. Мобилизация кремния и фосфора бактериями биопрепаратов «Кремнебактерин» и «Фосфобактерин» / О. Б. Вайшла, Н. А. Трифонова, А. А. Ведерникова // материалы. 21 Международ. науч. конф. – Томск, 2006. – Т. 2. – С. 349–351.
2. Газарян И. Г. Пероксидазы растений / И. Г. Газарян // Итоги науки и техники. Сер. Биотехнология. – М.: ВИНТИ, 1992. – Т. 36. – С. 4–28.
3. Кацы Е. И. Молекулярная генетика ассоциативного взаимодействия бактерий и растений / Е. И. Кацы. – М.: Наука, 2007. – 86 с.
4. Лебедева О. В. Кинетическое изучение реакции окисления о-дианизида перекисью водорода в присутствии пероксидазы из хрена / О. В. Лебедева, Н. Н. Угарова, И. В. Березин // Биохимия. – 1977. – Т. 42, № 8. – С. 1372–1379.
5. Мубинов И. Г. Роль оксидаз в регуляции уровня активных форм кислорода и реакциях пшеницы на инокуляцию эндофитным штаммом *Bacillus subtilis* / И. Г. Мубинов, Р. М. Хайруллин // Материалы. Международ. симпозиума. – Казань, 2006. – С. 93–94.
6. Наплекова Н. Н. Бак-Сиб – микробиологические препараты нового поколения, ЭМ-Биотехнология природного земледелия / Н. Н. Наплекова, М. С. Нерсисян. – Новосибирск: ЭМ-Биотех, 2005. – 32 с.
7. Самсонова Н. Е. Кремний в почве и растениях / Н. Е. Самсонова // Агрехимия. – 2005. – № 6. – С. 76–86.
8. Соколова М. Г. Влияние бактериальных биопрепаратов на физиологические параметры растений / М. Г. Соколова, Г. П. Акимова, Л. В. Нечаева // Материалы. Всерос. конф. – Иркутск, 2007. – С. 251–254.
9. Соколова М. Г. Влияние бактериальных биопрепаратов на урожай картофеля и его качество / М. Г. Соколова, Г. П. Акимова, А. В. Бойко и др. // Агрехимия. – 2008. – № 6. – С. 62–67.
10. Цавкелова Е. А. Микроорганизмы – продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение / Е. А. Цавкелова, С. Ю. Климова, Т. А. Чердынцева и др. // Приклад. биохим. и микробиол. – 2006. – Т. 42, № 2. – С. 133–143.
11. Vissey J. K. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers / J. K. Vissey // Plant and Soil. – 2003. – P. 571–586.

energy of seeds germination, seedlings growth speed, stimulated root formation, which facilitated better nutrition, growth and development of plants. The study justifies efficiency of associative interactions of biopreparations agrobacteria with plants based on functional activity of peroxidase – one of stress enzymes. Reduction of peroxidase activity in the seedlings under the impact of biopreparations apparently proves positive response of plant to associative bacteria and may serve as a marker response to external influences.

**Key words:** bacterial biofertilizers, seeds germination, seedlings growth speed, peroxidase activity.

*Соколова Марина Гавриловна*  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова 132, а/я 317  
кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник  
тел. (395 2) 42–82–56, факс (395 2) 51–07–54  
E-mail: SokolovaMG@sifibr.irk.ru

*Sokolova Marina Gavrilovna*  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
664033, Irkutsk, 132, Lermontova St.  
Ph.D. in Biology, senior research scientist  
phone: (395 2) 42–50–09, fax: (395 2) 51–07–54  
E-mail: SokolovaMG@sifibr.irk.ru

*Акимова Галина Петровна*  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова 132, а/я 317  
кандидат биологических наук,  
старший научный сотрудник  
тел. (395 2) 42–82–56, факс (395 2) 51–07–54

*Akimova Galina Petrovna*  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
664033, Irkutsk, 132, Lermontova St.  
Ph.D. in Biology, senior research scientist,  
Laboratory of Phytoimmunology  
phone: (395 2) 42–50–09, fax: (395 2) 51–07–54

*Нечаева Людмила Викторовна*  
Сибирский институт физиологии  
и биохимии растений СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова 132, а/я 317  
ведущий инженер-технолог  
тел. (395 2) 42–82–56, факс (395 2) 51–07–54

*Nechaeva Lyudmila Viktorovna*  
Siberian Institute of Plant Physiology  
and Biochemistry SB RAS  
664033, Irkutsk, 132, Lermontova St.  
leading engineer  
phone: (395 2) 42–50–09, fax: (395 2) 51–07–54