

УДК 581.1:58.07.071

## **АДАПТОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ ПРЕПАРАТОВ, СОДЕРЖАЩИХ РИЗОСФЕРНЫЕ БАКТЕРИИ, НА РОСТ ПРОРОСТКОВ ГОРОХА В УСЛОВИЯХ ГИПОТЕРМИИ**

© 2009 г. М. Г. Соколова, Г. П. Акимова

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений*

*Сибирского отделения Российской академии наук*

*(Иркутск, Россия)*

Изучали влияние бактериальных препаратов “Азотобактерин”, “Фосфобактерин”, “Кремнебактерин”, содержащих ризосферные микроорганизмы *Azotobacter* и *Bacillus*, на параметры роста проростков гороха при нормальной температуре и действии гипотермии. Показано, что биопрепараты ускоряют ростовые процессы: повышают энергию прорастания семян, скорость роста и биомассу проростков. Бактеризация способствует адаптации проростков к гипотермии и восстановлению роста после действия холода.

**Ключевые слова:** *Pisum sativum L.*, бактериальные биопрепараты, “Азотобактерин” (*Azotobacter chroococcum*), “Фосфобактерин” (*Bacillus megaterium*), “Кремнебактерин” (*Bacillus mucilaginosus*), растительно-микробные взаимодействия, ростовые параметры, низкая температура

Нормальная жизнедеятельность высших растений происходит при их тесном взаимодействии с микроорганизмами, заселяющими ризосферу и составляющими ассоциацию: «микроорганизмы – корневая система растения» (Мелентьев, 2007). Ризосферные микро- и макропартнеры такой ассоциации благоприятно воздействуют друг на друга. В свою очередь на эту систему влияют различные внешние факторы биотической и абиотической природы, в т.ч. неблагоприятные для растительного организма. Патогенные инфекции, экстремальные температуры могут привести к серьезным нарушениям метаболизма и существенно повлиять на рост и развитие растений. Отмечается, что ассоциативные бактерии снижают заболеваемость растений различными вирусными, грибными и бактериальными инфекциями (Кацы, 2007; Цавкелова и др., 2006; Шакирова и др., 2003). Но не исключено, что они могут повышать

устойчивость растений и к абиотическим стрессовым факторам (Yang et al., 2009), в частности к низким температурам (Мубинов и др., 2006; Хайруллин и др., 2009). В начальный период роста растений проростки агрокультур часто бывают подвержены действию гипотермии, что может затормозить их развитие и в дальнейшем негативно сказаться на урожае. Кроме того, ослабленное растение в большей степени подвергается разного рода заболеваниям.

Повышение устойчивости растений, усиление защитных функций организма с помощью определенных биологических методов могло бы существенно снизить или предотвратить воздействие негативных факторов. В связи с этим сейчас довольно активно исследуются ризобактерии, стимулирующие рост растений (plant growth-promoting rhizobacteria, или PGPR) (Кацы, 2007; Vissey, 2003; Yang et al., 2009). На базе различных видов ризосферной микрофлоры создан ряд микробных препаратов, полезное действие которых носит универсальный характер в отношении различных культур (Ефимов и др., 1996; Игнатов, 2005; Мачнева и др., 2007).

---

*Адрес для корреспонденции:* Соколова Марина Гавриловна, Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, а/я 317, ул. Лермонтова, 132, Иркутск-33, 664033, Россия;  
e-mail: SokolovaMG@sifibr.irk.ru, ustaff@sifibr.irk.ru

Микробные препараты позволяют направленно регулировать состав и численность микробного комплекса на корнях в соответствии с потребностями и возможностями растений. В литературе подчеркивается многостороннее действие таких ассоциативных микроорганизмов как *Azotobacter* и *Bacillus* (Вайшля и др., 2006; Курдиш и др., 2008; Мелентьев, 2007).

Однако влияние бактериальных препаратов на растительные объекты, особенно на начальных этапах их взаимодействия, остается недостаточно изученным. Также требуют исследования молекулярные механизмы взаимодействия ризосферных микроорганизмов и высших растений для дальнейшего улучшения эффективности применения подобных биопрепаратов в практике агропроизводства. Определённую информацию может дать исследование особенностей самых ранних этапов инфицирования семени и заселения микрофлорой корней на стадии проростков и ее роли в процессах роста и устойчивости бактериализованных растений.

Целью настоящего исследования было изучение влияния ризосферных микроорганизмов *Azotobacter* и *Bacillus*, входящих в состав бактериальных биопрепаратов “Азотобактерин”, “Фосфобактерин”, “Кремнебактерин” на ростовые параметры проростков гороха, в т.ч. в условиях действия пониженной температуры.

## МЕТОДИКА

Объектом исследования служили проростки гороха (*Pisum sativum* L.).

Проведены модельные эксперименты по влиянию разных концентраций биопрепаратов на ростовые параметры на начальных стадиях бактериализации ими семян и проростков гороха: энергию прорастания семян, скорость роста корней проростков, накопление сырой биомассы.

Исследуемые бактериальные биопрепараты “Азотобактерин”, “Фосфобактерин”, “Кремнебактерин” – это жидкие концентраты чистых культур почвенных микроорганизмов трех видов (Вайшля и др., 2006а; 2006б).

“Азотобактерин” – препарат на основе азотфиксаторов *Azotobacter chroococcum* (штамм Az d10, номер ВКМ В-2272 Д), поставляет аммонийную форму азота в

ризосферу растений. Это новый уникальный штамм бактерий, селекционирован по свойству к продуцированию ИУК и цитокининов, антибиотических веществ и возможности выдерживать такие концентрации дельта-метрина, которые используют в практике сельскохозяйственных работ, что позволяет применять эти бактерии совместно с пестицидами в составе баковых смесей при химпрополке посевов.

“Фосфобактерин” – препарат на основе живых почвенных кислотообразующих бактерий *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* (штамм Р1-04, номер ВКМ В-2357 Д). Высвобождает фосфат из нерастворимой формы в доступную для растений; стимулирует корнеобразование у растений.

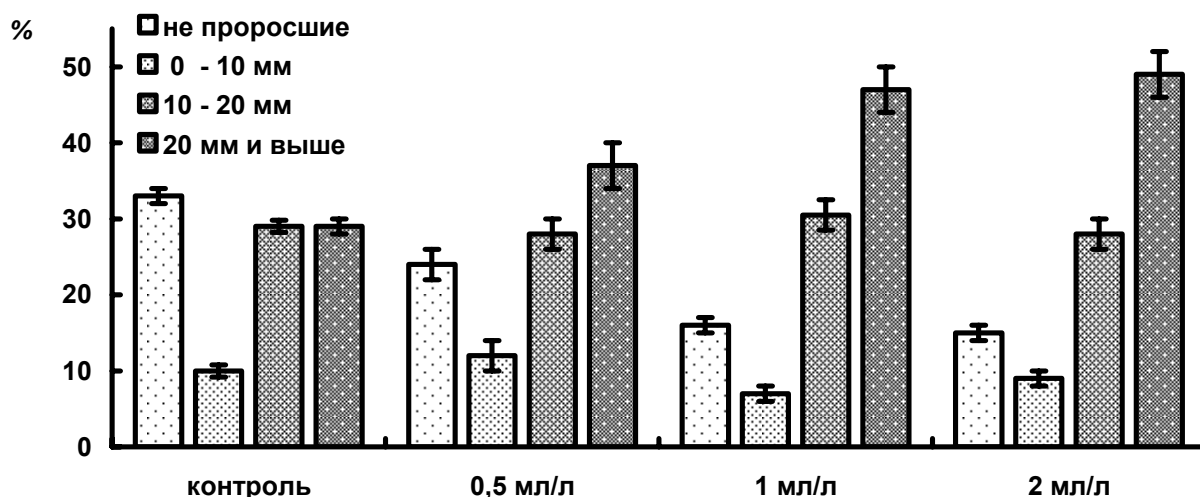
“Кремнебактерин” – препарат на основе силикатных бактерий *Bacillus mucilaginosus* (номер ВКМ В-1574). Бактерии, содержащиеся в этом препарате, выделяют фермент силиказу и поставляют кремний и другие макро- и микроэлементы из природных силикатов в ризосферу растений.

Бактериальные препараты разработаны на основе оригинальных эффективных штаммов бактерий в Томском госуниверситете (Вайшля и др., 2006а; 2006б), апробированы в хозяйствах Томской, Кемеровской областей и проходят исследования и испытания в Иркутской области на базе СИФИБР СО РАН.

Семена гороха промывали теплой водой с мылом и замачивали в растворе 3%  $H_2O_2$  в течение 20 мин для поверхностной стерилизации. Затем их заливали прокипяченной водой температуры 60°C и оставляли для набухания на 6 ч в термостате при 22°C. Набухшие семена проращивали в термостате при температуре 22°C в кюветах на фильтровальной бумаге, смоченной растворами биопрепаратов в концентрациях 0,5 мл/л, 1,0 мл/л 2,0 мл/л (опыт) или водой (контроль). Измерения ростовых параметров проводились в течение 1, 2, 3 сут при оптимальной температуре 22°C. Для определения энергии прорастания использовали 100 семян гороха на одну повторность.

Оценка влияния ризобактерий биопрепаратов на изменение ростовых параметров гороха при низкой температуре 8°C проводилась в течение 1, 2, 3, 5 сут и в период дальнейшего восстановления роста корней проростков при оптимальной температуре 22°C.

## АДАПТОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ



### Влияние разных концентраций "Азотобактерина" (*Azotobacter chroococcum*) на прорастание семян гороха (%).

Рабочий раствор препаратов, рекомендованный для полевых опытов – 0,5 мл/л. Титр бактерий в рабочем растворе  $10^6$  кл/мл.

Статистическая обработка результатов сделана методом дисперсионного анализа. Повторность опытов 3-кратная. В таблицах и на рисунке приведены средние арифметические данные и их стандартные ошибки (Лакин, 1985).

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований показано, что биопрепараты "Азотобактерин", "Фосфобактерин", "Кремнебактерин" повышали темпы роста растений. При оптимальной температуре максимальное влияние на прорастание семян гороха препараты оказали в концентрации 1-2 мл/л. Обработка "Азотобактерином" снизила

количество не проросших семян на 17-18% (рисунок). Количество не проросших семян гороха через 3 сут воздействия полного комплекса биопрепаратов (АРК) уменьшилось на 20-21% по сравнению с контролем (табл. 1).

Обработка биопрепаратами в разных концентрациях существенно повлияла на прирост корня и скорость роста проростков гороха. Была выявлена концентрация биопрепаратов, оптимальная для ростовых процессов растений гороха. Через сутки после обработки "Азотобактерином" ростовые параметры повышались максимально на 25% при концентрации 1 мл/л (табл. 2). Совместное влияние трех препаратов на проростки гороха при этой концентрации оказало еще больший эффект: скорость роста их возросла на 32%. Через 2 и 3 сут роста у инокулированных растений скорость роста была выше контроля на 20-40% (табл. 3).

Таблица 1

#### Влияние обработки биопрепаратами на прорастание семян гороха (%)

Размер, мм	3 сут, 22°C		
	Контроль, H <sub>2</sub> O	АРК 1 мл/л	АРК 2 мл/л
1-10	26	33	30
10-20	23	25	27
20-30	17	15	18
30-40	8	18	15
не проросшие	30	9	10

**Примечание.** АРК – комплекс трех биопрепаратов ("Азотобактерин", "Фосфобактерин", "Кремнебактерин").

Влияние разных концентраций бактериальных биопрепаратов и температуры на ростовые показатели корней проростков гороха через 24 ч после обработки

Вариант, концентрация	22°C			8°C	
	Прирост, мм	Скорость роста, мм/ч	% от контроля	Прирост, мм	Скорость роста, мм/ч
Контроль, H <sub>2</sub> O	11,78±0,72	0,495±0,015	100	1,24±0,09	0,052±0,003
Az, 0,5 мл/л	13,12±0,90	0,551±0,019	111,4		
Az, 1 мл/л	14,74±1,15	0,619±0,038	125,0	1,82±0,12	0,076±0,003
Az, 2 мл/л	13,50±1,00	0,567±0,029	114,6		
АРК, 1 мл/л	15,62±1,09	0,656±0,030	132,6	2,20±0,16	0,092±0,006
АРК, 2 мл/л	13,71±1,19	0,576±0,021	116,4		

Примечание. Здесь и в табл. 3 – 5: Az – *Azotobacter* (“Азотобактерин”); АРК – комплекс трех препаратов (“Азотобактерин”, “Фосфобактерин”, “Кремнебактерин”).

Ростовые параметры корней проростков гороха при обработке биопрепаратами при 22°C

Вариант	2 сут, 22°C			3 сут, 22°C		
	Прирост, мм	Скорость роста, мм/ч	% от контроля	Прирост, мм	Скорость роста, мм/ч	% от контроля
Контроль, H <sub>2</sub> O	10,32±1,00	0,430±0,015	100	11,65±1,00	0,500±0,030	100
Az, 1 мл/л	14,54±1,30	0,606±0,035	141	14,00±1,29	0,598±0,031	120
АРК, 1 мл/л	13,63±1,21	0,568±0,024	132	18,45±1,64	0,675±0,035	135

Низкие температуры, особенно в начальный период роста растений на стадии проростков, могут негативно сказаться на их развитии и существенно повлиять на дальнейшую жизнедеятельность растительного организма. Есть сведения, что взаимодействия с микробным сообществом, окружающим корни, оказывает положительное влияние на растение, повышая его устойчивость как к биотическим (Шакирова и др., 2003; Яруллина и др., 1999; Whipps, 2001), так и к абиотическим факторам (Архипова и др., 2004; Yang et al., 2009), таким как гипотермия (Хайруллин и др., 2009; Цавкелова и др., 2006). Вопрос относительно механизмов повышения устойчивости в растительно-микробных ассоциациях остается не ясным. Для выяснения роли микроорганизмов в процессах устойчивости и адаптации растений провели наблюдения по влиянию бакпрепаратов на ростовые процессы при действии низкой температуры.

Скорость роста проростков гороха при температуре 8°C через сутки падала по сравнению с ростом в нормальных условиях (22°C) в 9,5 раза в контроле без использования бактериальных препаратов. При инокуляции *Azotobacter* она снижалась только в 8,1 и при

обработке полным комплексом всех трех биопрепаратов (АРК) отмечено снижение темпов роста в 7,1 раза (табл. 2). Скорость роста проростков при воздействии ризобактерий, снижалась не так резко, как в контроле. Особенно при влиянии трех видов бактерий биопрепаратов растения продолжали более активный рост в условиях низкой температуры.

Через 3 сут действия гипотермии скорость роста корней проростков повышалась. При этом обработка *Azotobacter* повышала скорость роста в 1,3 раза, а в варианте с АРК этот показатель возрастал в 1,4 раза по сравнению с холодным контролем (табл. 4). Вероятно, ассоциативные микроорганизмы способствовали адаптации растений к гипотермии и ростовые процессы при воздействии бактерий проходили более интенсивно. Кроме того, обработка ризосферными бактериями после действия холода способствовала более быстрому восстановлению роста в нормальных условиях. Скорость роста корней опытных проростков при температуре 22°C через сутки после 3-х суточного воздействия

## АДАПТОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ

Таблица 4

**Влияние низкой температуры на скорость роста (мм/ч) корней проростков гороха при обработке биопрепаратами (3 сут, 22°C → 3 сут, 8°C → 1 сут, 22°C)**

Вариант	2 сут, 8°C	% от контроля	3 сут, 8°C	% от контроля	Восстановление (1 сут, 22°C)	% от контроля
Контроль, H <sub>2</sub> O	0,109±0,007	100	0,138±0,009	100	0,555±0,038	100
Az	0,125±0,009	115	0,175±0,010	127	0,744±0,047	134
АРК	0,155±0,009	142	0,189±0,012	137	0,795±0,048	143

Таблица 5

**Средняя масса сырого вещества (г) корня проростка гороха при обработке биопрепаратами**

Вариант	3 сут, 22°C	% от контроля	3 сут, 8°C → 1 сут, 22°C	% от контроля	5 сут, 8°C → 2 сут, 22°C	% от контроля
Контроль, H <sub>2</sub> O	0,045±0,002	100	0,085±0,004	100	0,143±0,007	100
Az	0,058±0,003	128,9	0,097±0,006	114,1	0,171±0,009	119,6
АРК	0,061±0,004	135,5	0,104±0,007	122,4	0,192±0,009	137,1

гипотермии была в 1,3-1,4 раза выше контрольных (табл. 4).

Также нами отмечено, что бактериизованные проростки опережали контрольные растения по фазе развития: боковые корни у них появлялись раньше, в большем количестве и имели большую длину как при росте при физиологически нормальной температуре, так и при воздействии гипотермии. Вес корней был выше на 14 и 37% у проростков, инокулированных *Azotobacter* и АРК, соответственно, в разных вариантах опыта (табл. 5).

Итак, исследуемые биопрепараты на основе ризосферных бактерий *Azotobacter* и *Bacillus* положительно повлияли на рост растений гороха с самых ранних стадий инокуляции ими семян. Показана стимуляция роста проростков при обработке бактериальными препаратами как при оптимальной, так и при низкой температурах. Препараты проявили адаптогенный эффект на проростки гороха при гипотермии.

В литературе отмечается, что ассоциативные микроорганизмы выполняют комплекс функций, полезных для растения-хозяина. Они стимулируют развитие растений (синтез фитогормонов и витаминов), способствуют биоконтролю фитопатогенов (синтез антибиотиков, индукция системной устойчивости), а также повышают интенсивность ассимиляции корнями питательных веществ, содержащих азот, фосфор и калий

(Дахмуш и др., 2007; Кацы, 2007; Мелентьев, 2007; Шакирова, 2003; Whipps, 2001). Полезные микроорганизмы являются антагонистами патогенной грибной и бактериальной микрофлоры, подавляют их негативное действие.

Ранее нами показано (Соколова и др., 2009; 2008а; 2008б), что данные бактериальные биопрепараты увеличивают урожайность, повышают устойчивость растений к грибным заболеваниям, снижают содержание нитратов в урожае, ускоряют созревание различных культур.

Ростстимулирующие свойства бактерий в растительно-микробных ассоциациях отмечаются рядом исследователей (Bashan, 1998; Vissey, 2003). Они объясняются способностью ризобактерий к синтезу биологически активных веществ, в частности гормональной природы (Архипова и др., 2006; Волобуева и др., 2008). Существует распространенное мнение, что свойство продуцировать фитогормоны достаточно общее среди микроорганизмов и примерно 80% почвенных и ризосферных бактерий синтезируют растительные гормоны (Кравченко, 1991; Цавкелова, 2006; Costacurta, 1995).

Есть сведения, что штаммы бактерий PGPR с нормальным уровнем образования ИУК способствуют удлинению у растений главного корня, развитию придаточных корней и увеличению количества корневых волосков. Мутанты PGPR с подавленным синтезом

ауксина дефектны по позитивному влиянию на корневую систему растений (Patten, Glick, 2002; Xie et al, 1996). По мнению ряда авторов, микроорганизмы для бакпрепаратов должны отбираться по способности синтезировать рострегулирующие вещества (Arshad et al., 1991).

Отмечается, что фитогормоны, кроме влияния на рост и урожайность, обладают способностью повышать устойчивость растений к неблагоприятным абиотическим факторам, в частности, к низким температурам. Многочисленные исследования показали, что развитие холодостойкости – комплексный признак, проявляющийся при слаженном действии различных регуляторных систем на разных уровнях организации растительного организма (Зауралов, 2000; Климов, 2008). Получен ряд сведений о гормональном контроле ответа на гипо- и гипертермию (Веселов и др., 2002; Гималов и др., 2004), в частности, концентрация гормонов ауксинов и цитокининов способна быстро меняться, что может иметь адаптивное значение при изменениях температуры (Карпец, Колупаев, 2009; Kudoyarova, 1998).

Остается открытым вопрос относительно роли ассоциативных микроорганизмов при действии на растения низкой температуры. Нами получены данные (Акимова и др., 1999; Соколова, 2001) о влиянии низкой температуры на взаимодействие клубеньковых бактерий с бобовыми растениями при формировании симбиотических отношений. Показано положительное адаптивное влияние *Rhizobium leguminosarum* на растения гороха при гипотермии, коррелирующее с повышением уровня цитокининов (Соколова и др., 2005), что, в свою очередь, связывают с защитной реакцией растения на негативные факторы (Nover et al., 1984). Подобные сведения, особенно относительно ризосферных бактерий, в литературе практически отсутствуют. Однако указывается, что образование ассоциаций с ризосферными ростстимулирующими бактериями (PGPR) является одним из основных путей адаптации растений к неблагоприятным условиям среды (Шакирова и др., 2003; Цавкелова и др, 2006; Yang et al., 2009). Считают, что в области ризосферы бактеризованных растений численность микроорганизмов резко возрастает, они создают пленку на поверхности корней и за счет этого, и в результате жизнедеятельно-

сти микроорганизмов, происходит увеличение температуры почвы на 2-3 градуса, что помогает растению легче перенести гипотермическое воздействие. Поэтому, у обработанных растений, посеянных ранней весной, быстрее развивается мощная корневая система. При повышении температуры воздуха такие растения быстро трогаются в рост и обгоняют контрольные растения.

Важная роль в ростовых процессах и устойчивости растений отводится кремнию. Повышение защитных свойств может происходить за счет деятельности силикатных бактерий, увеличивающих долю доступного кремния, что способствует укреплению стенок эпидермальных клеток растений. Кроме того, кремний оказывает стимулирующее влияние на развитие корневой системы, скорость роста, массу растений, способствует повышению засухоустойчивости, устойчивости растений к поражению грибными заболеваниями, насекомыми-вредителями, полеганию, низким температурам (Матыченков и др., 2007; Самсонова, 2005).

“Кремнебактерин” поставляется обменный кремний. Есть сведения, что данный элемент способствует накоплению в клетках растений осмолитов и веществ-криопротекторов (Воронков и др., 2005).

Итак, полученные нами результаты позволяют сделать вывод, что инокуляция исследуемыми микробиологическими препаратами “Азотобактерин” (*Azotobacter chroococcum*), “Фосфобактерин” (*Bacillus megaterium*) и “Кремнебактерин” (*Bacillus mucilaginosus*) повышает ростовые параметры и устойчивость проростков к гипотермии, способствует восстановлению их роста и развития после действия холода, а микроорганизмы, входящие в состав изучаемых биопрепаратов, проявляют адаптогенные свойства при воздействии на растения низкой температуры. При этом комплексное применение препаратов, вызывающих широкий спектр позитивных физиологических реакций у растений, является более эффективным.

Таким образом, применение подобных препаратов на основе эффективных штаммов ризосферных бактерий является актуальным для практического применения и эффективного развития биологического земледелия. Реализация потенциальных возможностей растительно-микробного взаимодействия во многом зависит

## АДАПТОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ

от наличия объективных данных об эффекте микробиологических препаратов, определенном на основе фундаментальных исследований (Игнатов, 2005; Кацы, 2007; Мелентьев, 2007; Bashan, 1998). Нами показано, что комплекс ризобактерий *Azotobacter* и *Bacillus* биопрепаратов обладает ростстимулирующим и адаптогенным эффектом за счет вероятного участия кремния и фитогормонов в этих процессах, роль которых будет выяснена нами в дальнейших исследованиях.

*Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам Томского государственного университета О.Б. Вайшла и А.А. Ведерниковой за всестороннюю помощь и ценные советы в работе.*

## ЛИТЕРАТУРА

- Акимова Г.П., Соколова М.Г., Нечаева Л.В. Влияние инокуляции *Rhizobium leguminosarum* на рост корней гороха при пониженной температуре // Физиология растений. – 1999. – Т. 46, № 5. – С. 806-810.
- Архипова Т.Н., Веселов С.Ю., Мелентьев А.И. и др. Влияние микроорганизмов, продуцирующих цитокинины, на рост растений // Биотехнология. – 2006. – № 4. – С. 50-55.
- Архипова Т.Н., Мелентьев А.И., Веселов С.Ю., Кудоярова Г.Р. Влияние цитокининпродуцирующих микроорганизмов на устойчивость растений салата к токсическому действию кадмия // Агрехимия. – 2004. – № 3. – С. 69-73.
- Вайшла О.Б., Трифонова Н.А., Ведерникова А.А. Мобилизация кремния и фосфора бактериями биопрепаратов «Кремнебактерин» и «Фосфобактерин» // Мат-лы. XXI межд. научн. конф. «Химия, химическая технология и биотехнология на рубеже тысячелетий» – Томск, 2006а. – Т. II. – С. 349-351.
- Вайшла О.Б., Ведерникова А.А., Кин А.И., Минаева О.М. Биологические активаторы плодородия почв // Мат-лы VI конф. молодых ученых «Наука и инновации XXI века». – Сургут, 2006б. – С. 175-177.
- Веселов Д.С., Сабиржанова И., Ахиярова Г. и др. Роль гормонов в быстром ростовом ответе растений пшеницы на осмотический и холодовой шок // Физиология растений. – 2002. – Т. 49, № 4. – С. 572-576.
- Волобуева О.Г., Скоробогатова И.В., Шильникова В.К. Взаимодействие биологически активных веществ ризобий и ризобактерий с эндогенными фитогормонами растений гороха разных сортов // Агрехимия. – 2008. – №8. – С. 42-45.
- Воронков М.Г., Барышок В.П. Силатраны в медицине и сельском хозяйстве. – Новосибирск, СО РАН, 2005. – 227 с.
- Гималов Ф.Р., Черемис А.В., Вахитов В.А. О восприятии растениями холодового сигнала // Успехи совр. биологии. – 2004. – Т. 124, № 2. – С. 185-196.
- Дахмуш А.С., Кожемяков А.П. Использование ассоциативных ризобактерий в улучшении плодородия почв и питания растений // Агрехимия. – 2007. – № 1. – С. 57-61.
- Ефимов В.Н., Воробейников Г.А., Патил А.Б. и др. Азотное питание и продуктивность гороха и кормовых бобов при обработке семян комплексом бактериальных препаратов // Агрехимия. – 1996. – № 1. – С. 10-15.
- Зауралов О.А. Стратегия адаптации высших растений к неблагоприятным условиям среды // С.-х. биология. – 2000. – № 5. – С. 39-45.
- Карпец Ю.В., Колупаев Ю.Е. Ответ растений на гипертермию: молекулярно-клеточные аспекты // Вісн. Харків. націон. аграрн. ун-ту. Сер. Біологія. – 2009. – Вип. 1 (16). – С. 19-38.
- Кацы Е.И. Молекулярная генетика ассоциативного взаимодействия бактерий и растений. – М.: Наука, 2007. – 86 с.
- Климов С.В. Адаптация растений к стрессам через изменение донорно-акцепторных отношений на разных уровнях структурной организации // Успехи соврем. биологии. – 2008. – Т. 128, № 3. – С. 281-299.
- Кравченко Л.В., Боровков А.В., Пишкриз З. Возможность биосинтеза ауксинов ассоциативными азотфиксаторами в ризосфере пшеницы // Микробиология. – 1991. – Т. 60, № 5. – С. 927-937.
- Курдиш И.К., Бега З.Т., Гордиенко А.С., Дыренко Д.И. Влияние *Azotobacter vinelandii* на прорастание семян растений и адгезия этих бактерий к корням огурцов // Прикл. биохимия и микробиология. – 2008. – Т. 44, № 4. – С. 442-447.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1980. – 294 с.
- Матыченков В.В., Кособрюхов А.А., Шабнова Н.И., Бочарникова Е.А. Кремниевые удобрения как фактор повышения засухоустойчивости растений // Агрехимия. – 2007. – № 5. – С. 63-67.
- Мачнева В.В., Семина С.А. Бактериальные удобрения при возделывании яровой пшеницы // Плодородие. – 2007. – № 6 (39). – С. 19-20.

- Меленьтьев А.И.* Аэробные спорообразующие бактерии *Bacillus Cohn* в агроэкосистемах. – М.: Наука, 2007. – 120 с.
- Молекулярные основы взаимоотношений ассоциативных микроорганизмов с растениями / Отв. ред. В.В. Игнатов.* – М.: Наука, 2005. – 262 с.
- Мубинов И.Г., Хайруллин Р.М.* Роль оксидаз в регуляции уровня активных форм кислорода и реакциях пшеницы на инокуляцию эндофитным штаммом *Bacillus subtilis* // Мат-лы междунар. симпозиума «Сигнальные системы клеток растений: роль в адаптации и иммунитете». – Казань, 2006. – С. 93-94.
- Самсонова Н.Е.* Кремний в почве и растениях // *Агрохимия.* – 2005. – № 6. – С. 76-86.
- Соколова М.Г.* Физиологические особенности начальных этапов инфицирования корней гороха *Rhizobium leguminosarum* при разных температурах: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Иркутск, 2001. – 21 с.
- Соколова М.Г., Акимова Г.П., Сотникова И.В., Нечаева Л.В.* Эффективность внесения бактериальных препаратов под овощные культуры // *Сиб. Вестн. с.-х. науки.* – 2009. – № 1. – С. 25-29.
- Соколова М.Г., Акимова Г.П., Бойко А.В. и др.* Влияние бактериальных биопрепаратов на урожай картофеля и его качество // *Агрохимия.* – 2008а. – № 6. – С. 62-67.
- Соколова М.Г., Акимова Г.П., Нечаева Л.В.* Участие цитокининов в развитии бобово-ризобияльного симбиоза при пониженной температуре // *Агрохимия.* – 2005. – № 5. – С. 66-70.
- Соколова М.Г., Акимова Г.П., Рудиковский А.В. и др.* Бактериальные биопрепараты и их влияние на урожай томатов и картофеля // *Плодородие.* – 2008б. – № 1. – С. 26-28.
- Хайруллин Р.М., Недорезков В.Д., Мубинов И.Г., Захарова Р.Ш.* Повышение устойчивости пшеницы к абиотическим стрессам эндофитным штаммом *Bacillus subtilis* // *Вестник On-line Оренбургского гос. ун-та.* ISSN 1814-6465. – 30.03.2009.
- Цавкелова Е.А., Климова С.Ю., Чердынцева Т.А., Нетрусов А.И.* Микроорганизмы – продуценты стимуляторов роста растений и их практическое применение // *Прикл. биохимия и микробиология.* – 2006. – Т. 42, № 2. – С. 133-143.
- Шакирова Ф.М., Сахабутдинова А.Р.* Сигнальная регуляция устойчивости растений к патогенам // *Успехи соврем. биологии.* – 2003. – Т. 123, № 6. – С. 563-572.
- Яруллина Л.Г., Максимов И.В., Хайруллин Р.М.* Гормональный баланс как показатель устойчивости пшеницы к грибным патогенам // *Междунар. конф. «Физиология растений – наука III тысячелетия».* – 1999. – Т. 2. – С. 751-752.
- Arshad M., Frankenberger W.* Microbial production of plant hormones // *Plant and Soil.* – 1991. – V. 133. – P. 1-8.
- Bashan Y.* Inoculants of plant growth-promoting bacteria for use in agriculture // *Biotechnol. Adv.* – 1998. – V. 16, № 4. – P. 729-770.
- Costacurta A., Vanderleyder J.* Synthesis of phytohormones by plant-associated bacteria // *Crit. Rev. Microbiol.* – 1995. – V. 21, № 1. – P. 1-18.
- Kudoyarova G.R., Farhutdinova R.G., Mitrichenko A.N. et al.* Fast changes in growth rate and cytokinin content of the shoot following rapid cooling of root of wheat seedling // *Plant Growth Regul.* – 1998. – V. 26. – P. 105-108.
- Nover L., Hellmund D., Neumann D. et al.* The heat shock response of eukariotic cell // *Biol. Zentralblatt.* – 1984. – V. 103, № 4. – P. 356-435.
- Patten C.L., Glick B.R.* Role of *Pseudomonas putida* indoleacetic acid in development of the host plant root system // *Appl. Environ. Microbiol.* – 2002. – V. 68, № 8. – P. 3795-3801.
- Vissey J.K.* Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers // *Plant Soil.* – 2003. – V. 225. – P. 571-586.
- Whipps J.M.* Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere // *J. Exp. Bot.* – 2001. – V. 52. – P. 487-511.
- Xie H., Pasternak J.J., Glick B.R.* Isolation and characterization of mutants of the plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas putida* GR12-2 that overproduce indoleacetic acid // *Curr. Microbiol.* – 1996. – V. 32, № 2. – P. 67-71.
- Yang J, Klopper J.W., Ryu C-M.* Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress // *Trends Plant Science.* – 2009. – V. 14, № 1. – P. 1-8.

Поступила в редакцию  
29.07.2009 г.



**СОКОЛОВА, АКИМОВА**

**ADAPTOGENIC INFLUENCE OF RHIZOBACTERIA  
BIOPREPARATIONS ON PEA SEEDLINGS GROWTH  
UNDER HYPOTHERMIA**

M. G. Sokolova, G. P. Akimova

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry  
of Siberian Division of Russian Academy of Sciences  
(Irkutsk, Russia)*

The study was focused on the impact of rhizospheric microorganisms *Azotobacter* and *Bacillus*, as constituents of bacterial preparations “Nitrogen-bacterin”, “Phospho-bacterin” and “Silicon-bacterin” on physiological parameters of pea plants growth and the role of these bacteria during the impact of low temperature on these plants. A significant effect of their application was demonstrated. Biopreparations accelerate growth processes: enhance the energy of seeds germination and seedlings biomass. Bacterization promotes adaptation of seedlings to hypothermia and restoration of growth after cold exposure. Bacterial biopreparations may be recommended for treatment of seeds prior to planting in order to stimulate germination, enhance plant resistance to hypothermia and improvement of further plant growth.

**Key words:** *Pisum sativum L.*, bacterial biopreparations, “Nitrogen-bacterin” (*Azotobacter chroococcum*), “Phospho-bacterin” (*Bacillus megaterium*), “Silicon-bacterin” (*Bacillus mucilaginosus*), plant-microbe interactions, growth parameters, low temperature

**АДАПТОГЕННИЙ ВПЛИВ ПРЕПАРАТІВ,  
ЯКІ МІСТЯТЬ РИЗОСФЕРНІ БАКТЕРІЇ, НА РІСТ ПРОРОСТКІВ ГОРОХУ  
ЗА УМОВ ГІПОТЕРМІЇ**

М. Г. Соколова, Г. П. Акімова

*Сибірський інститут фізіології і біохімії рослин  
Сибірського відділення Російської академії наук  
(Іркутськ, Росія)*

Вивчали вплив бактеріальних препаратів “Азотобактерин”, “Фосфобактерин”, “Кремнебактерин”, які містять ризосферні мікроорганізми *Azotobacter* і *Bacillus*, на параметри росту проростків гороху за нормальної температури і дії гіпотермії. Показано, що біопрепарати прискорюють ростові процеси: підвищують енергію проростання насіння, швидкість росту і біомасу проростків. Бактеризація сприяє адаптації проростків до гіпотермії і відновленню росту після дії холоду.

**Ключові слова:** *Pisum sativum L.*, бактеральні біопрепарати, “Азотобактерин” (*Azotobacter chroococcum*), “Фосфобактерин” (*Bacillus megaterium*), “Кремнебактерин” (*Bacillus mucilaginosus*), рослинно-мікробні взаємодії, ростові параметри, низька температура