

*Степанов С. А.* Структурные и функциональные аспекты межметамерных отношений в онтогенезе побега яровой пшеницы : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М. : Изд-во МСХА, 2001. 39 с.

*Степанов С. А., Коробко В. В., Даштоян Ю. В.* Трансформация межметамерных отношений в онтогенезе побега пшеницы // Изв. Саратов. гос. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2005. Т. 5, вып. 2. С. 33–36.

*Степанов С. А.* Склеренхима – нервная ткань растений? // Вопросы биологии, экологии, химии и методики обучения : сб. науч. ст. 2006. Вып. 9. С. 59–65.

*Степанов С. А.* Проблема целостности растения на современном этапе развития биологии // Изв. Саратов. гос. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2008. Т. 8, вып. 2. С. 50–57.

*Уоринг Ф., Филлис И.* Рост и дифференцировка. М. : Мир, 1984. 512 с.

*Чайлахян М. Х.* Целостность организма в растительном мире // Физиология растений. М., 1980. Т. 27, вып. 5. С. 917–940.

*Чернова Т. Е., Горшкова Т. А.* Биогенез растительных волокон // Онтогенез. 2007. Т. 38, № 4. С. 271–284.

*Шульгин И. А., Щербина И. П., Панкрухина Т. В.* Об энергетическом эффекте регуляции урожая нижними листьями // Биол. науки. М., 1988. № 10. С. 71–82.

*Sadras V. O., Connor D. J., Whitfield D. M.* Yield, yield components and source-sink relationships in water-stressed sunflower // Field Crops Res. 1993. Vol. 31. P. 27–39.

*Singh B. N., Lal M. B.* Investigation of the effect of age on assimilation of leaves // Ann. Bot. 1935. Vol. 49. P. 291–307.

УДК 339.13.012

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РИЗОБАКТЕРИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫРАЩИВАНИЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ

**М. А. Ханадеева<sup>1</sup>, Л. Н. Злобина<sup>2</sup>, Н. И. Старичкова<sup>3</sup>,  
Л. П. Антониук<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> ФГБУН «Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН»  
Саратов, пр. Энтузиастов, 13

<sup>2</sup> ГНУ «НИИ СХ Юго-Востока» РАСХН  
Саратов, ул. Тулайкова, 7

<sup>3</sup> Саратовский государственный университет им. Н. Г. Чернышевского  
Саратов, ул. Астраханская, 83  
E-mail: natstar-12@mail.ru

Приводятся данные о влиянии предпосевной обработки семян ростостимулирующими ризобактериями на урожайность и качество зерна растений яровой мягкой пшеницы. Полученные результаты показывают положительное влияние ризобактерий на урожайность в стрессовых условиях вегетации, при этом негативного влияния предпосевной обработки на качество зерна не происходит.

**Ключевые слова:** яровая мягкая пшеница, показатель SDS-седиментации, микробиологический препарат, ризобактерии.

## APPLICATION OF RHIZOBACTERIA FOR INCREASE IN THE EFFICIENCY OF THE SPRING SOFT WHEAT CULTIVATION

**M. A. Khanadeeva, L. N. Zlobina, N. I. Starichkova, L. P. Antonyuk**

The data on the effect of the pre-sowing treatment with bacteria *Azospirillum brasilense* on grain yield and quality of spring soft wheat plants are given. The results obtained show a positive effect of rhizobacteria on yield under stress conditions of vegetation, with pre-sowing does not adversely affect the quality of the grain.

**Key words:** spring soft wheat, SDS-sedimentation, microbiological preparations, rhizobacteria.

Перспективным направлением сельскохозяйственной биотехнологии является разработка биопрепаратов растительно-бактериальной природы, включающих не только бактерии, но и лектины – полученные из семян злаков вещества белковой и гликопротеиновой природы. Растительные лектины являются продуктами метаболизма растений. Эти биологически активные вещества положительно влияют на рост, развитие и продуктивность высших растений (Кириченко с соавт., 2005), а также на рост и физиологическую активность микроорганизмов (Сергиенко с соавт., 2006). Есть сведения о том, что применение такой растительно-бактериальной композиции для предпосевной обработки семян пшеницы активизирует ростовые процессы растений и повышает урожай зерна яровой пшеницы, а также оказывает положительное влияние на развитие агрономически полезной группы микроорганизмов-азотфиксаторов в ризосферной зоне растений. Эти данные свидетельствуют о возможности создания и перспективности использования лектиносодержащих биопрепаратов с целью повышения продуктивности сельскохозяйственных культур (Чеботарь с соавт., 2009; Whipps, 2001).

Направленное создание комплексных биопрепаратов и их широкое использование позволило бы обеспечить качественно иной уровень сель-

скохозияйственного производства, сделав его малозатратным, экологически более безопасным, а следовательно, и более конкурентоспособным.

### Материал и методы

В течение четырех лет (с 2009 по 2012 г.) был проведен эксперимент, включающий лабораторные и полевые испытания с целью оценить влияние предпосевных микробных обработок семенного материала сортов яровой мягкой пшеницы, выведенных в Саратовском селекционном центре, культурой *Azospirillum brasilense* на продуктивность и качество зерна.

Лабораторные эксперименты, включающие в себя биохимическую оценку зерна и получение культуры *Azospirillum brasilense* Sp245, проводились в лаборатории биохимии Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН (ИБФРМ РАН г. Саратов).

Биохимическая оценка включала определение количества лектина (агглютинина зародышей пшеницы – АЗП) в зерне. Содержание АЗП оценивали по его способности агглютинировать эритроциты крови кролика в реакции гемагглютинации (РГА). О лектиновой активности в экстрактах судили по титру – конечному разведению экстракта, еще вызывающему РГА; результат оценивали в виде среднего из трех повторностей.

Полевой опыт проводился на базе Научно-исследовательского института сельского хозяйства Юго-Востока (НИИ СХ Юго-Востока, Саратов). Эксперимент состоял из контрольного посева (семена не обрабатывались бактериями) и опытных посевов, включающих предпосевную микробиологическую обработку культурой *A. brasilense* Sp245. Опытный и контрольный варианты высевали рендомизированно трехрядковыми делянками в пятикратной повторности в селекционном севообороте на поле лаборатории селекции яровых пшениц НИИ СХ Юго-Востока, предшественник – черный пар.

Качество зерна оценивали в лаборатории технологии и качества зерна НИИ СХ Юго-Востока методом SDS-седиментации, который имеет высокую положительную корреляцию с физическими свойствами теста и используется для тестирования мягких пшениц. Метод SDS-седиментации основан на способности белков клейковины набухать в слабокислой среде с добавлением SDS – додецилсульфата натрия, образуя осадок в пробирке, величина которого измеряется в мл и является показателем SDS-седиментации (SDS-объем). Этот метод широко используется за рубежом в селекции твердой пшеницы, в последние годы разработаны его

модификации (НИИ СХ Юго-Востока) для оценки качества зерна мягких пшениц (Бебякин, Крупнова, 1990).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2003 и Microsoft Office Excel XP. Доверительные интервалы определяли для 95% уровня значимости.

Посев и уборка урожая проводились в соответствии со сроками, рекомендованными лабораторией селекции мягкой пшеницы НИИ СХ Юго-Востока в зависимости от климатических условий: посев производился с 22 апреля по 4 мая, а сбор урожая – с 1 по 10 августа.

### Результаты и их обсуждение

В качестве первого этапа в решении этой задачи изучали сортовую вариабельность АЗП в семенах 25 сортов пшеницы, выведенных в саратовском селекционном центре. В дальнейшем для эксперимента выбрали ряд сортов яровой мягкой пшеницы.

Эксперименты показали, что генотипическая вариабельность признака «содержание лектина в зерне» у яровых мягких пшениц исключительно высока: максимальные и минимальные значения этого признака имели примерно 40-кратные отличия. У сортов мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) можно выделить три группы: с высоким, низким и средним содержанием лектина. Первая группа включала 2 сорта – Саратовская 64, Саратовская 60 (титры 1 : 96 и 1 : 178 соответственно). Наименьший уровень содержания лектина был выявлен у Альбидум 28, Альбидум 29 и сорта Лебедушка (титры от 1 : 4 до 1 : 11). Остальные сорта: Саратовская 38, Саратовская 42, Саратовская 52, Саратовская 58, Саратовская 66, Саратовская 68, Саратовская 70 и Фаворит занимали промежуточное положение по содержанию АЗП в семенах (титры от 1 : 21 до 1 : 64). Важно отметить отсутствие резких границ между группой сортов со средним уровнем АЗП, с одной стороны, и группами с низким или высоким содержанием лектина – с другой.

Семена изучаемых сортов пшеницы перед посевом подвергали микробиологическим обработкам. Опытные варианты обрабатывались суспензией культуры *A. brasilense* Sp245 в концентрациях от  $10^5$  до  $10^7$  бактериальных клеток на зерновку.

Проводился анализ погодных условий вегетационного периода в течение каждого года эксперимента. Климатические условия в период вегетации в 2009, 2011 и 2012 гг. по сравнению с многолетними данными из-

менялись незначительно. Средние многолетние климатические данные, полученные на метеостанции НИИ СХ Юго-Востока, использовались для сравнения и были условно приняты за норму. Климатические условия в течение вегетационного периода 2010 г. отличались аномально жарким и засушливым летним периодом: среднее отклонение температуры в течение летних месяцев составило  $+6,7^{\circ}\text{C}$  (выше нормы на 27%), а суммарный дефицит влаги равнялся 110,4 мм (меньше нормы на 60,3%).

После завершения эксперимента проводили изучение влияния предпосевных микробных обработок на продуктивность яровой пшеницы. Учет урожайности каждого сорта проводился по вариантам опыта по показателю «масса зерна с делянки».

Анализ полученных данных показал, что урожайность у всех сортов значимо увеличилась при обработке семян и раскустившихся растений культурой *A. brasilense* Sp245 в экстремальном по погодным условиям 2010 г., который выдался аномально жарким даже в условиях засушливого климата Саратовской области. В другие годы проведения эксперимента (2009, 2011 и 2012) мы столкнулись с хорошо известным явлением нестабильности результатов инокуляции. У отдельных сортов не наблюдали значимых различий по урожайности между опытными и контрольными посевами, у других было либо небольшое снижение, либо увеличение показателя «масса зерна с делянки» по сравнению с контролем.

В эксперименте 2009 г. проводилась обработка шести сортов – Альбидум 28, Альбидум 29, Саратовская 60, Саратовская 64, Саратовская 68, Лебедушка суспензией культуры *A. brasilense* Sp245. Уровень инокуляции составил  $10^7$  бактериальных клеток на зерновку. Результаты оценки качества зерна методом SDS-седиментации приведены в табл. 1.

Как видно из полученных данных, бактериальная обработка значимо повысила качество зерна у сортов Альбидум 28 (низкоколектиновый) и Саратовская 64 (высококолектиновый), у сорта Лебедушка наблюдали небольшое снижение анализируемого показателя.

Исходя из полученных результатов, план экспериментальных работ в 2010 г. был скорректирован. Для дальнейших исследований оставили три сорта: Альбидум 28 и Альбидум 29 – низкоколектиновые сорта и высококолектиновый Саратовская 64. Опытные сорта обрабатывались суспензией культуры *A. brasilense* Sp245 в двух вариантах концентрации рабочей суспензии: 1-й вариант –  $10^5$  бактериальных клеток на зерновку и 2-й вариант –  $10^6$  бактериальных клеток на одно семя.

Таблица 1

## Показатель SDS-седиментации в 2009 г.

Сорт	Показатель седиментации, мл	
	Контроль	<i>A. brasilense</i> Sp245, 10 <sup>7</sup> кл./семя
Альбидум 28	43,7±1,2	46,3±0,3*
Альбидум 29	45,7±1,45	43,7±1,45*
Саратовская 60	44,3±0,7	45,7±0,88*
Саратовская 64	40,3±0,88	43,7±1,2*
Саратовская 68	44,0±0,58	45,0±1,53
Лебедушка	45,0±2,0	42,3±0,88*

Примечание. Знаком \* отмечены варианты, в которых наблюдались статистически достоверные отличия.

Урожайность у всех трех сортов, включая и низколектиновые, значительно увеличилась при обработке семян. При этом наибольшая урожайность отмечена во втором варианте опыта с обработкой 10<sup>6</sup> бактериальных клеток на одно семя: прибавка урожая по сравнению с контролем у сорта Альбидум 28–36,7%, у сорта Альбидум 29–91,3%, у сорта Саратовская 60–77,3%.

Показатели качества зерна, оцененные методом SDS-седиментации, приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Показатель SDS-седиментации в 2010 г.

Сорт	Показатель седиментации, мл		
	Контроль	<i>A. brasilense</i> Sp245, 10 <sup>5</sup> кл./семя	<i>A. brasilense</i> Sp245, 10 <sup>6</sup> кл./семя
Альбидум 28	58±0	54,3±0,33*	56,3±1,45*
Альбидум 29	53,3±0,66	56,0±4,04	53,7±0,33
Саратовская 64	47,3±0,88	45,3±2,96	49,3±2,40

Примечание. Знаком \* отмечены варианты, в которых наблюдались статистически достоверные отличия.

Из представленных в табл. 2 данных видно, что у двух сортов – Альбидум 29 и Саратовская 64 предпосевная обработка семян бактериями не оказывала влияния на показатель SDS-седиментации, у сорта Альби-

дум 28 уровень SDS-седиментации был достаточно высоким (см. табл. 2), при этом опытные значения были несколько более низкими по сравнению с контролем.

В 2011 г. в план опытного посева были включены дополнительно сорта яровой мягкой пшеницы: низколектиновый Лебедушка и высоколектиновые Саратовская 60 и Саратовская 68. Таким образом, в полевом опыте использовались шесть сортов: Альбидум 28, Альбидум 29, Саратовская 60, Саратовская 64, Саратовская 68 и Лебедушка.

Обработку семян проводили рабочей суспензией с концентрацией  $10^6$  клеток. Все остальные факторы – время и количество обработок, агротехнические мероприятия были такими же, как и в эксперименте 2010 г. Результаты эксперимента показали отсутствие достоверных отличий по урожайности между экспериментальным и контрольным вариантами опыта как у высоколектиновых сортов, так и у низколектиновых. Показатель SDS-объема определяли также у посевного материала – семян репродукции 2010 г. до их обработки ризобактериями. Оценка качества зерна приведена в табл. 3.

Таблица 3

Показатель SDS-седиментации в 2011 г.

Сорт	Показатель седиментации, мл		
	Посевной материал (репрод. 2010)	Контроль	<i>A. brasilense</i> , $10^6$ кл./семя
Альбидум 28	45.7±0.88	42.7±0.88	40.0±1.15*
Альбидум 29	42.7±0.66	42.0±3.05	38.7±1.20
Саратовская 60	42.3±0.88	39.3±1.76	36.7±0.66*
Саратовская 64	37.3±1.76	39.7±1.86	42.7±2.02*
Саратовская 68	41±0.58	37.3±0.66	40.0±0.58*
Лебедушка	38.3±0.33	39.7±0.88	42.3±0.33*

Примечание. Знаком \* отмечены варианты, в которых наблюдались статистически достоверные отличия.

Как видно из представленных данных, влияние предпосевной обработки на показатель SDS-седиментации было различным у разных сортов. В случае сортов Саратовская 64, Саратовская 68 и Лебедушка влияние было положительным, у сорта Альбидум 29 обработка азоспи-

риллами не оказывала влияния, а у сортов Альбидум 28 и Саратовская 60 наблюдалось небольшое ингибирование – снижение показателя.

В полевой эксперимент 2012 г. были включены сорта, имеющие среднее (промежуточное) содержание АЗП в зерне – Саратовская 66 и Саратовская 70. Обработку семян проводили рабочей суспензией с концентрацией  $10^6$  клеток на семя. Все остальные факторы – время и количество обработок, агротехнические мероприятия были такими же, как и в предшествующих экспериментах.

Климатические условия вегетационного периода 2012 г. мало отличались от среднестатистических по региону, однако имели свои особенности – значительный дефицит влаги во время вегетации растений пшеницы (в период с мая по июль дефицит влаги составил 59 мм).

У сорта Альбидум 28 отмечено значимое увеличение урожайности, у сортов Альбидум 29, Саратовская 66 и Саратовская 70 – незначительное статистически достоверное снижение, у сортов Саратовская 60 и Саратовская 64 значимых различий по урожайности между опытом и контролем не выявлено.

Полученные показатели качества зерна, оцененные методом SDS-седиментации, приведены в табл. 4. В эксперимент был включен анализ качества зерна посевного материала помимо анализа опытного и контрольного посевов.

Таблица 4

Показатель SDS-седиментации в 2012 г.

Сорт	Показатель седиментации, мл		
	Посевной материал (репрод. 2010–11)	Контроль	<i>A. brasilense</i> Sp245, $10^6$ кл./семя
Альбидум 28	45.7±0.88	56.7±1.33	57.7±1.45
Альбидум 29	42.7±0.66	57.0±1.53	56.0±1.54
Саратовская 60	42.3±0.88	56.7±1.45	56.0±1.53
Саратовская 64	37.3±1.76	53.7±0.33	56.3±1.20*
Саратовская 66	42.7±0.66	62.0±2.0	65.3±1.33*
Саратовская 70	41.7±2.60	61.3±2.73	60.3±3.18

Примечание. Знаком \* отмечены варианты, в которых наблюдались статистически достоверные отличия.



В эксперименте 2012 г. ни у одного из шести протестированных сортов не обнаружено негативного влияния предпосевной обработки на показатель SDS-седиментации. Качество зерна увеличивалось у сортов Саратовская 64 и Саратовская 66, у остальных четырех сортов оно не изменялось.

Сравнение между собой показателей посевного материала и зерна урожая 2012 г. показывает значительное увеличение SDS-седиментации в семенах репродукции 2012 г., что доказывает заметное влияние климатических условий на проявление изучаемого признака.

Характеризуя полученные по SDS-седиментации данные, следует отметить, что в целом предпосевная обработка семян яровых мягких пшениц бактериями *A. brasilense* Sp245 не снижала качества семян нового урожая. Полученная нами «матрица данных» (сведенные вместе полученные результаты) по показателю SDS-седиментации представлена 24 отдельными результатами.

В большинстве случаев SDS-седиментация либо статистически не отличалась от контроля (10 результатов из 24), либо возрастала (8 результатов из 24). В тех немногих случаях, когда значения опытных образцов были ниже контрольных (Альбидум 28 – в 2010 и 2011 гг., сорт Лебедушка – в 2009 г. и Саратовская 60 – в 2011 г.), снижение было незначительным и в целом сопоставимым с вариабельностью признака в других анализируемых образцах.

Вероятно, изменение качества зерна пшеницы в ответ на предпосевную обработку семян бактериями зависело, наряду с другими факторами, и от генотипа анализируемого сорта. Так, у сорта Саратовская 64 (со средним количеством лектина в зерновке) ни разу не наблюдалось случаев снижения показателя SDS-седиментации в опыте по сравнению с контролем, причем в 3 случаях из 4 было увеличение качества в ответ на инокуляцию. И наоборот, Альбидум 28, также включенный в эксперимент в течение четырех лет, отличался нестабильностью реакции в ответ на инокуляцию как по урожайности, так и по качеству. Вероятно, это связано с особенностями сорта, селекция которого проходила в острозасушливых условиях Краснокутской госселекстанции.

Одной из задач нашей работы было сопоставление двух групп данных, полученных в рамках одного и того же полевого эксперимента: сравнивались показатели «масса зерна с делянки» и «SDS-седиментация». Такое сопоставление позволяет выяснить, есть ли корреляция между из-

менением урожайности под влиянием предпосевной обработки семян, с одной стороны, и изменением качества зерна – с другой. Подобной корреляции нами не выявлено, однако была выявлена другая важная закономерность: при отсутствии прибавки урожая (в случаях, когда показатель «масса зерна с делянки» не возрастал) наблюдалось улучшение качества зерна – показатель «SDS-седиментация» увеличивался.

*Список литературы*

*Бебякин В. М., Крупнова О. В.* Генетическая обусловленность SDS-показателя у яровой мягкой пшеницы // Цитология и генетика. 1990. Т. 24, № 4. С. 61–65.

*Кириченко Е. В., Жеймода А. В., Коць С. Я.* Влияние растительно-бактериальной композиции на продуктивность яровой пшеницы // Агрохимия. 2005. № 10. С. 41–27.

*Сергиенко В. Г., Перковская Г. Ю., Титова Л. В., Кириченко Е. В.* Применение биологически активных препаратов против болезней томата // Защита растений, 2006. Вып. 30, ч. 1. С. 506–509.

*Чеботарь В. К., Макарова Н. М., Шапошникова А. И., Кравченко Л. В.* Антифунгальные и фитостимулирующие свойства ризосферного штамма *Bacillus subtilis* Ч-13 – продуцента биопрепаратов // Прикладная биохимия и микробиология. 2009. Т. 45, № 4. С. 465–469.

*Whipps J. M.* Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere // J. Experim. Botany. 2001. Vol. 52, № 90001. P. 487–511.