

**Кормопроизводство: биологические основы и технологии**

УДК 636.085:633.34:631.524.84:[631.461.5+631.466.12 doi: 10.15389/agrobiology.2014.2.118rus

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ И КАЧЕСТВА СЕМЯН СОИ  
ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ АЗОТФИКСАЦИИ**Н.В. ПАРАХИН<sup>1</sup>, А.А. ОСИН<sup>1</sup>, М.В. ДОНСКАЯ<sup>2</sup>, А.А. ОСИН<sup>2</sup>

Применение биопрепаратов, повышающих симбиотическую азотфиксацию, урожайность и качество бобовых культур, — один из современных приемов, который позволяет разрабатывать энергосберегающие, экологически безопасные технологии кормопроизводства, учитывающие природные особенности региона и обеспечивающие устойчивое развитие отрасли. В полевых опытах в условиях Среднерусской лесостепи оценивали урожайность и качество семян у сои ультраскороспелого сорта Магева на фоне разных доз азотно-фосфорно-калийных удобрений при совместной инокуляции растений клубеньковыми бактериями (*Bradiorhizobium japonicum*) и эндомикоризным грибом (*Glomus intraradices*). Определяли численность и массу клубеньков, их нитрогеназную активность и количество фиксированного азота воздуха. Биопрепараты на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов, применяемые совместно без удобрений и на фоне расчетных норм фосфорно-калийных удобрений, в значительной степени способствовали повышению симбиотической активности у растений сои, усилению биологической фиксации азота воздуха, росту урожайности и улучшению качества семян. Так, фосфорно-калийные удобрения повысили нодуляцию растений, а количество биологически фиксированного азота возросло в 3,0 раза по сравнению с контролем. При инокуляции с применением ризоторфина и гломуса без внесения удобрений и на фоне фосфорно-калийных удобрений отмечали максимальную нодуляцию. При естественном плодородии почвы с одновременным использованием обоих биопрепаратов урожайность сои повысилась на 7,3 ц/га, содержание белка — на 2,3 %. Применение под культуру расчетных норм фосфорно-калийных удобрений обеспечило увеличение урожайности на 48,0 %.

**Ключевые слова:** соя, продуктивность, инокуляция, клубеньковые бактерии, эндомикоризные грибы.

Одной из наиболее актуальных задач остается разработка энергосберегающих, экологически безопасных технологий, учитывающих природные условия региона и обеспечивающих устойчивое развитие сельского хозяйства. В кормопроизводстве к числу таких приемов относится применение биопрепаратов, повышающих симбиотическую азотфиксацию, урожайность и качество бобовых культур. Предпосевная обработка семян микробиологическими препаратами повышает их биологическую активность, активизирует физиологические процессы во время вегетации растений, усиливает адаптивные возможности в неблагоприятных условиях, улучшает качество выращиваемой продукции (1-11).

Бобово-ризобиальный и эндомикоризный симбиозы относятся к наиболее важным для сельского хозяйства интегрированным растительно-микробным системам. Эндомикоризные грибы в симбиозе с бобовыми растениями образуют арбускулярную микоризу, которая оптимизирует водный статус растения, снабжает необходимыми элементами минерального питания и повышает устойчивость к фитопатогенам (12).

Так, инокуляция сои ризобиумом и грибами арбускулярной микоризы улучшает поглощение P, Ca, Mg, а также увеличивает общее потребление азота растениями (1, 13-15). При совместной инокуляции растений азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими микроорганизмами усиливается образование корневых клубеньков, увеличивается их сухая масса, нитрогеназная активность; при этом повышается урожайность растений и содержание белка в семенах. Показано, что инокуляция азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими организмами по эффекту соответствует внесению минеральных форм азота и фосфора в дозе N<sub>30</sub>P<sub>30</sub>. При этом удвоение количества минеральных удобрений не приводит к достоверной прибавке

урожая (1, 2). Аналогичные результаты отмечены на горохе посевном (3).

В задачу нашей работы входила оценка влияния биопрепаратов (ризоторфина, грибов арбускулярной микоризы) и разных доз минеральных удобрений на формирование симбиотической системы, биологическую азотфиксацию, урожайность и качество семян.

**Методика.** Объектом исследований служили растения сои ультраскороспелого сорта Магева, районированного в Центрально-Черноземной зоне. Эксперименты проводили в условиях севооборота (опытные участки Всероссийского НИИ зернобобовых культур, Орловский р-н, 2004-2006 годы). Почва опытного участка — темно-серая лесная, по гранулометрическому составу среднесуглинистая, по глубине пахотного слоя и обеспеченности питательными веществами среднекультуренная. Содержание гумуса и общего азота составляет соответственно 4,4-5,5 и 0,14-0,16 %, легкогидролизуемого азота — 6,5-7,8, обменного калия ( $K_2O$ ) — 8-12, подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) — 9,2-11,3 мг/100 г почвы; гидролитическая кислотность — 4,2-4,6; сумма поглощенных оснований — 21,2-26,5 мг-экв/100 г почвы; степень насыщенности основаниями — 76-94 %; pH солевой вытяжки — 5,5-6,3. Учетная площадь делянок составляла 15 м<sup>2</sup>, повторность 4-кратная, размещение рендомизированное. Агротехника сои в опыте — общепринятая для зоны. Норма высева — 0,6 млн всхожих семян на 1 га. Для инокуляции растений использовали ризоторфин — биопрепарат клубеньковых бактерий *Bradiorhizobium japonicum* (штамм 646а) и препарат на основе эндомикоризного гриба *Glomus intraradices* (штамм 8), представляющий собой смесь субстрата с микоризованными корнями суданской травы (*Sorghum sudanense*) (оба препарата получены из Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии, г. Санкт-Петербург—Пушкин). Ризоторфином (200 г/га) обрабатывали семена перед посевом, препарат эндомикоризного гриба (300 кг/га) вносили в почву непосредственно при посеве.

Симбиотическую активность и продуктивность растений сои анализировали в следующих вариантах опыта: I — абсолютный контроль (без применения минеральных удобрений и биопрепаратов клубеньковых бактерий и гломуса); II — без применения минеральных удобрений, но с совместной инокуляцией азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими микроорганизмами; III — с внесением РК без инокуляции; IV — с внесением РК на фоне совместной инокуляцией азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими микроорганизмами; V — на фоне  $N_{0,5}PK$  без инокуляции. Минеральные удобрения рассчитывали на планируемую урожайность 30 ц/га и вносили под предпосевную культивацию. Азотфиксирующую способность растений оценивали по показателю нодуляции, числу и массе клубеньков, их нитрогеназной активности и количеству фиксированного азота воздуха по общепринятым методикам (16). В лабораторных условиях определяли также содержание жира и белка в семенах на ИК-анализаторе  $N_{12-42}$  (Россия). Урожайность учитывали при уборке сплошным методом (комбайн Sampo-500, «Sampo Rosenlew Ltd.», Финляндия), пересчитывая на 100 % чистоту и 14 % влажность семян.

Математическую обработку данных проводили с использованием компьютерных программ Statistica v. 6.0 («StatSoft, Inc.», США) и Microsoft Office Excel 2010.

**Результаты.** У растений сои активность формируемой симбиотической системы зависела от условий минерального питания и применения биопрепаратов (табл.).

**Характеристика азотфиксирующей активности, продуктивности и качества семян у растений сои ультраскороспелого сорта Магева в зависимости от условий минерального питания и применения биопрепаратов азотфиксирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов (опытный участок Всероссийского НИИ зернобобовых культур, Орловский р-н, 2004-2006 годы)**

Показатель	Вариант опыта				V
	контроль		РК		
	I	II	III	IV	
Азотфиксирующая активность					
Нодуляция, %	33,5	94,5	68,6	98,6	12,7
Число клубеньков, млн шт/га	2,2	7,0	6,1	10,7	1,5
Масса клубеньков, кг/га	50,9	251,9	251,3	332,7	22,6
Нитрогеназная активность, мкг N <sub>2</sub> /(раст. · ч)	100,1	314,5	259,8	390,2	20,5
Количество фиксированного N <sub>2</sub> воздуха, кг/га	33	115	98	161	8
Продуктивность и качество семян					
Урожайность, ц/га	11,9	19,2	17,6	24,1	22,7
Содержание белка, %	39,3	41,5	40,5	42,8	41,6
Содержание жира, %	17,9	17,4	17,6	17,1	17,1

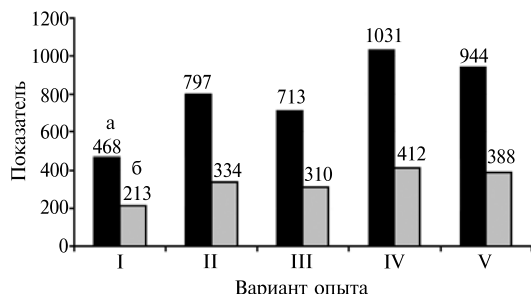
Примечание. I — абсолютный контроль (без применения минеральных удобрений и биопрепаратов клубеньковых бактерий и гломуса); II — без применения минеральных удобрений, но с совместной инокуляцией азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими микроорганизмами; III — с внесением РК без инокуляции; IV — с внесением РК на фоне совместной инокуляции азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими микроорганизмами; V — на фоне N<sub>0,5</sub>PK без инокуляции.

Фосфорно-калийные удобрения повысили нодуляцию растений с 33,5 до 68,6 %, при этом число клубеньков и их масса возросли соответственно в 2,8 и 4,9 раза по отношению к абсолютному контролю. Нитрогеназная активность составила 259,8 мкг N<sub>2</sub>/(раст. · ч), а количество биологически фиксированного азота повысилось в 3,0 раза. Инокуляция с применением ризоторфина и гломуса в вариантах без использования удобрений и на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений приводила к дальнейшему повышению всех симбиотических показателей. Число клубеньков и их масса были соответственно в 3,2-4,9 и 4,9-6,5 раз выше контроля, а количество симбиотически фиксированного азота составило соответственно 115 и 161 кг/га. В этих вариантах зафиксировали максимальную нодуляцию растений. Применение половинной нормы азота на фоне фосфорно-калийных удобрений существенно снижало все симбиотические показатели, особенно активность нитрогеназы и долю биологического азота в урожае.

Наибольшее влияние на урожайность и качество семян сои оказала совместная обработка растений азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими биопрепаратами (см. табл.). При естественном плодородии почвы с одновременным использованием обоих биопрепаратов урожайность сои повысилась на 7,3 ц/га, содержание белка — на 2,3 %. Применение под эту культуру расчетных норм фосфорно-калийных удобрений обеспечило увеличение урожайности на 48,0 %. Содержание белка в семенах составило 40,5 % против 39,3 % в I варианте (абсолютный контроль). При совместной обработке семян сои ризобиумом и гломусом и внесении фосфорно-калийных удобрений улучшались условия симбиотрофного питания. Доля азота, фиксируемого из атмосферы, увеличивалась, что положительно отражалось на продуктивности растений и качестве семян. Урожайность и содержание белка в семенах в этом варианте были наибольшими: при сборе зерна 24,1 ц/га его белковость повысилась на 3,5 %.

Половинная норма азота (V вариант) предусматривала участие как симбиотического, так и минерального азота в формировании урожая. Однако внесенные азотные удобрения существенно угнетали симбиоз, поэтому урожайность семян и их качество были ниже, чем в варианте с применением совместной инокуляции ризобиями и гломусом на фоне РК (IV вариант). В то же время использование полного минерального удобрения увели-

чивало урожайность на 5,1 ц/га и белковость семян на 1,1 % по отношению к абсолютному контролю. Содержание жира находилось в обратной корреляционной зависимости от внесения компонентов, обеспечивающих питание растений (рис.). Наибольшую масличность семян отмечали в I варианте опыта (абсолютный контроль) — 17,9 %. Биопрепараты и минеральные удобрения снизили этот показатель на 0,5–0,8 %, однако за счет роста урожайности сбор жира с 1 га посевов повысился. Фосфорно-калийные удобрения увеличили выход жира на 97 кг/га, белка — на 245 кг/га. Сбор белка возрос на 70 %, жира — на 57 % (см. рис.).



**Сбор белка (а, кг/га) и жира (б, кг/га) у сои (ультраскороспелый сорт Магева) в зависимости от условий минерального питания и применения биопрепаратов азотфиксирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов: I — абсолютный контроль (без применения минеральных удобрений и инокуляции биопрепаратами клубеньковых бактерий и гломуса); II — без применения минеральных удобрений, но с совместной инокуляцией азотфиксирующими и фосфатмобилизующими микроорганизмами; III — с внесением РК без инокуляции; IV — с внесением РК на фоне совместной инокуляции азотфиксирующими и фосфатмобилизующими микроорганизмами; V — на фоне N<sub>0,5</sub>PK без инокуляции (опытный участок Всероссийского НИИ зернобобовых культур, Орловский р-н, 2004–2006 годы).**

Совместная инокуляция микробиологическими биопрепаратами в сочетании с внесением фосфорно-калийных удобрений обеспечили получение максимального количества белка и жира с 1 га: в IV варианте опыта белковая продуктивность составила 1031 кг/га, сбор масла — 412 кг/га. Половинная норма азота на фоне фосфора и калия повышала выход белка и жира в зерне сои (V вариант), но эти показатели уступали отмеченным при инокуляции ризобиями и гломусом с одновременным применением фосфорно-калийных удобрений (IV вариант).

Таким образом, совместное использование биопрепаратов на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов без внесения удобрений и на фоне расчетных норм фосфорно-калийных удобрений в значительной степени способствует повышению симбиотической активности растений сои, увеличивает биологическую фиксацию азота воздуха и тем самым обеспечивает рост урожайности и улучшение качества семян.

Таким образом, совместное использование биопрепаратов на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов без внесения удобрений и на фоне расчетных норм фосфорно-калийных удобрений в значительной степени способствует повышению симбиотической активности растений сои, увеличивает биологическую фиксацию азота воздуха и тем самым обеспечивает рост урожайности и улучшение качества семян.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО Орловский государственный аграрный университет,  
302019 Россия, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69,  
e-mail: pnv@orel.ru;

<sup>2</sup>ГНУ Всероссийский НИИ зернобобовых и крупяных культур Россельхозакадемии,  
302502 Россия, Орловская обл., Орловский р-н, пос. Стрелецкий, ул. Молодежная, 10/1,  
e-mail: nmaria\_87@mail.ru

Поступила в редакцию  
11 мая 2013 год

*Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2014, № 2, pp. 118–122

## ELEVATION OF SOYBEAN PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY DUE TO INTENSIFICATION OF NITROGEN FIXATION

*N.V. Parakhin<sup>1</sup>, A.I.A. Osin<sup>1</sup>, M.V. Donskaya<sup>2</sup>, A.A.I. Osin<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Orel State Agrarian University, 69, ul. Generala Rodina, Orel, 302019 Russia, e-mail pnv@orel.ru;

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Legumes and Groats Crops, Russian Academy of Agricultural Sciences, 10/1, ul. Molodezhnaya, pos. Streletskii, Orel Province, 302502 Russia, e-mail nmaria\_87@mail.ru

Received May 11, 2013

doi: 10.15389/agrobiol.2014.2.118eng

## Abstract

Usage of the biopreparations beneficial to symbiotic nitrogen fixation are regarded as an effective and environmentally friendly technology, allowing elevation of the fodder crop yield and quality, and ensuring sustainable and low-energy consuming development of fodder production under the local climatic conditions. During the field trials in the Middle-Russian forest-steppe zone, the yield and grain quality parameters were examined in Mageva, an ultra-early ripening soybean variety, inoculated with *Bradiorhizobium japonicum* and *Glomus intraradices* under different levels of mineral N, P, and K. The number and the weight of nodules, the nitrogenase activity, and the N<sub>2</sub>-fixation were estimated. A combination of nitrogen fixing and phosphate mobilizing microorganisms, being used with or without P and K fertilizers, was found to elevate the symbiotic activity in soybean plants (the nodulation at 94.5-98.6 %), to increase the nitrogen fixation (up to 115-161 kg/ha) and crop yield, and also to improve the fodder quality. When P and K fertilizers were applied separately from biopreparations, the nodulation made 68.6 % and was higher enough to cause 3-fold nitrogen fixation. When no fertilizer was used, the inoculation with *Bradiorhizobium japonicum* and *Glomus intraradices* resulted in the increase of soybean yield by 7.3 centner/ha, and the protein content was 2.3 % higher. If the calculated doses of P and K fertilizers were applied together with the biopreparations, the soybean yield increased by 48.0 %.

Keywords: soya, productivity, inoculation, nodule bacteria, endomycorrhizal fungi.

## REFERENCES

1. Kawai Y., Yamamoto Y. Increase in the formation and nitrogen fixation of soybean nodules by vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Plant Cell Physiol.*, 1986, 27(3): 399-405.
2. Labutova N.M., Polyakov A.I., Lyakh V.A., Gordon V.L. *Doklady RASKHN*, 2004, 2: 10-12.
3. Borisov A.Yu., Naumkina T.S., Shtark O.Yu., Danilova T.N., Tsyganov V.E. *Doklady RASKHN*, 2004, 2: 12-14.
4. Voronichev B.A., Kolomeichenko V.V. *Kormoproizvodstvo*, 2003, 5: 14-18.
5. Debelyi G.A., Kalinina L.V., Duplyak A.I. *Zernobovoye kul'tury v Nechernozem'e* [Grain legumes in Nechernozem'e]. Moscow, 1985.
6. El'chaninova N.N., Vasin A.V., Nechaeva E.Kh., Aleksandrov Yu.A., Zasyupkin M.E. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii (Samara)*, 2009, 4: 11-14.
7. Zavalin A.A. *Biopreparaty, udobreniya i urozhai* [Biopreparations, fertilizers, and crop yield]. Moscow, 2005.
8. Borisov A.Yu., Shtark O.Yu., Zhukov V.A., Nemankin T.A., Naumkina T.S., Pinaev A.G., Akhtemova G.A., Voroshilova V.A., Ovchinnikova E.S., Rychagova T.S., Tsyganov V.E., Zhernakov A.I., Kuznetsova E.V., Grishina O.A., Sulima A.S., Fedorina Ya.V., Chebotar' V.K., Bisseling T., Lemanso F., Dzhianinazzi-Pirson V., Rate P., Sankhuan Kh., Stougaard I., Berg G., Makfi K., Ellis N., Tikhonovich I.A. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2011, 3: 41-47.
9. Chebotar' V.K., Zavalin A.A., Kiprushkina E.I. *Effektivnost' primeneniya biopreparata ekstrasol* [Application efficacy of Extrasol biopreparation]. Moscow, 2007.
10. Gianinazzi-Pearson V., Dumas-Gaudot E. The contribution of model legumes to arbuscular mycorrhiza research. *Grain Legumes*, 2009, 53: 21-22.
11. Wipf D. Mechanisms of beneficial legume-microbe interactions. *Proc. First Legume Society Conference 2013: A Legume Odyssey*. Novi Sad, Serbia, 2013: 227.
12. Tikhonovich I.A. *Sel'skokhozyaistvennaya Biologiya [Agricultural Biology]*, 2000, 1: 28-33.
13. Osin A.A. *Vliyaniye bobovo-rizobial'nogo i arbuskulyarno-mikoriznogo simbiozov na urozhainost' i belkovuyu produktivnost' soi i fasoli v usloviyakh tsentral'noi lesostepi Rossii. Avtoreferat kandidatskoi dissertatsii* [Influence of legume-rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbiosis on yield and protein level in soybean and kidney bean in Central Forest-Steppe Zone of Russia. PhD Thesis]. Orel, 2009.
14. Parakhin N.V., Osina V.S., Osin A.A., Osin A.A. *Vestnik OrelGAU (Orel)*, 2008, 3: 2-4.
15. Osina V.S., Osin A.A., Osin A.A. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Fitosanitarnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya agrosistem»* [Proc. Int. Conf. «Phytosanitary base for sustainable development of agroecosystems»]. Orel, 2008: 39-42.
16. Posypanov G.S. *Metody izucheniya biologicheskoi fiksatsii azota vozdukha* [Methods to study biological fixation of nitrogen from the air]. Moscow, 1991.