

УДК 635.655.2:631.461:631.524.84

## ВЛИЯНИЕ ДВОЙНОЙ ИНОКУЛЯЦИИ НА СИМБИОЗ, АЗОТФИКСАЦИЮ, ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕМЯН СОИ

*Н.В. Парахин, академик РАСХН (ФГОУ ВПО Орел ГАУ)*

*А.А. Осин, (ФГОУ ВПО Орел ГАУ)*

*В.С. Осина, к.с.-х.н. (ФГОУ ВПО Орел ГАУ)*

*А.А. Осин, к.с.-х.н. (ФГОУ ВПО Орел ГАУ)*

Система интенсивного сельскохозяйственного производства позволила, по оценкам Мирового банка, увеличить прирост сельхозпродукции на 70–90%. Но интенсификация требует больших капиталовложений, использования в значительных объемах пестицидов, удобрений и энергоносителей [1]. Однако в последнее время эта практика изменяется во многих странах мира.

Современное сельское хозяйство все больше заинтересовано в производстве экологически чистой продукции с наименьшими затратами и минимальным риском для окружающей среды. Поэтому одним из приоритетных направлений развития человечества становится концепция «устойчивого сельского хозяйства», которая базируется на альтернативных, экологически безопасных системах землепользования, способных наиболее эффективно использовать невозобновляемые и внутривозрастные ресурсы, биологические циклы и контроли и улучшить качество жизни сельхозпроизводителей и всего общества в целом [2].

Отечественное земледелие, функционирующее в условиях резкого сокращения внесения минеральных удобрений, весьма заинтересовано в использовании альтернативных агротехнологий, позволяющих получить дополнительные источники минерального питания растений. Это может быть достигнуто в результате применения биопрепаратов, повышающих симбиотическую азотфиксацию и улучшающих усвоение других макроэлементов бобовыми растениями.

В природных экосистемах бобовые культуры формируют ассоциации с грибами арбускулярной микоризы и ризобиями. Такие взаимодействия получили название тройного симбиоза. Имеются структурные сходства, общие гены в системах, контролируемых бобово-ризобияльный и арбускулярный микоризный (АМ) симбиозы [3, 4].

Опытные данные отечественных и зарубежных ученых показывают положительное влияние двойной инокуляции ризобиями и микоризой на продуктивность бобовых растений. Так, исследования Н.М. Лабутовой и др., проведенные в полевых условиях, показали, что двойная инокуляция растений сои клубеньковыми бактериями и эндомикоризными грибами значительно повышала урожайность и содержание белка в семенах, чем при моноинокуляции каждым препаратом отдельно [5].

Опытные данные V. Kawai и V. Yamamoto (1986) показали, что при инокуляции сои ризобии-

мом совместно с грибами АМ, растения лучше поглощали Р, Са, Mg. Двойная инокуляция повышала количество клубеньков, их сухую массу и нитрогеназную активность [6]. Аналогичные результаты были отмечены на горохе посевном [7].

Несмотря на активные исследования, потенциал бобово-ризобияльного и АМ симбиозов в условиях ЦЧР изучен недостаточно.

Целью нашей работы явилось изучение влияния двойной инокуляции на формирование симбиотической системы, фотосинтетических показателей, уровень симбиотической азотфиксации, урожайность и качество семян сои.

### Методика

Исследования были проведены в ГНУ ВНИИЗБК в севообороте лаборатории генетики и микробиологии в 2004–2006 гг. Объектом исследования была соя (сорт Магева).

Почва опытных участков – темно-серая лесная; среднесуглинистая; с мощностью гумусового слоя 30–35 см. Плотность пахотного слоя – 1,30–1,35 г/см<sup>3</sup>. Гигроскопическая влажность в пахотном слое – 7,5% от сухой массы почвы. Наименьшая влагоемкость – 32,2–34,8%. Влажность устойчивого завадания – 9,7% от объема почвы. Содержание гумуса составило 4,4–5,5%; легкогидролизуемого азота по Кононовой – 7,8–9,5 мг/100 г почвы; подвижного фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) по Кирсанову – 9,2–11,3 мг/100 г почвы; калия (K<sub>2</sub>O) по Масловой – 7,5–8,3 мг/100 г почвы; гидrolитическая кислотность – 4,2–4,6 мг-экв.; сумма поглощенных оснований – 21,6–26,5 мг-экв./100 г почвы; степень насыщенности основаниями – 78–94%; pH солевой вытяжки – 5,6–6,3.

Для инокуляции растений использовали биопрепарат ризоторфин на основе клубеньковых бактерий *Rhizobium japonicum* (штамм 646а) и биопрепарат на основе эндомикоризного гриба *Glomus intraradices* (штамм 8), представляющий смесь субстрата с микоризированными корнями растения-хозяина (ВНИИСХМ). Перед посевом семена обрабатывали ризоторфином, эндомикоризный гриб в количестве 300 кг/га вносили в почву при посеве. Схема полевого опыта включала следующие варианты:

1. Контроль (без удобрений и без обработок *Rhizobium* и *Glomus*) – вариант абсолютного контроля необходим для выявления эффективности биопрепаратов;
2. Инокуляция *Glomus*;
3. Инокуляция *Rhizobium*.
4. Инокуляция *Rhizobium* + *Glomus*.

Второй – четвертые варианты необходимы для выявления эффективности моноинокуляции ризоторфином, микоризации гломусом и эффективности тройного симбиоза (бобовое растение + ризобий + гломус) без внесения удобрений на естественном плодородии почвы.

Общепринятая для условий зоны агротехника сои. Норма высева 0,6 млн. всхожих семян на 1 га. Учетная площадь делянки 15 м<sup>2</sup>, повторность четырехкратная.

В ходе исследований изучали динамику формирования симбиотического аппарата сои, нитрогеназную активность клубеньков, количество активных клубеньков [8], динамику формирования площади листьев, фотосинтетического потенциала (ФП) чистой продуктивности фотосинтеза (ЧПФ) [9], содержание белка (N×6,25), жира по Сокслету и урожайность семян сои.

**Результаты и их обсуждение**

Наши исследования показали, что при инокуляции гломусом повысились все показатели формирования симбиотического аппарата сои. Так, при внесении гломуса в почву число клубеньков и их масса возросли в 1,4 раза по сравнению с абсолютным контролем, при этом нодуляция растений достигла 44,5% против 33,5%. Применение ризоторфина обеспечило дальнейшее повышение всех показателей симбиотической системы сои (табл. 1).

Таблица 1 – Показатели развития симбиотической системы сои (в среднем за 2004–2006 гг.)

Показатели	Варианты			
	1	2	3	4
Нодуляция растений, %	33,5	44,5	80,9	94,5
Количество клубеньков, млн шт./га	2,2± 0,08	3,1± 0,09	4,9± 0,08	7,0± 0,08
Масса клубеньков, кг/га	50,9± 6,24	70,9± 8,19	171,7± 10,40	251,9± 11,21
Активность нитрогеназы, N <sub>2</sub> мкг /раст./час	100,1	112,1	211,4	314,5

Численность клубеньков в варианте с клубеньковыми бактериями повысилась в 2,2, а их масса в 3,4 раза и нодуляция – в 2,4 раза были выше, чем в контрольном варианте.

Инокуляция растений азотфиксирующими и фосфатмобилизирующими микроорганизмами одновременно оказалась более эффективной, чем каждым препаратом отдельно. В среднем за 3 года полевых опытов число клубеньков в этом варианте составило 7,0 млн. шт./га, что в 3,2 раза больше, чем на контроле без инокуляции, нодуляция растений достигла 94,5%, а активность нитрогеназы была максимальной – 314,5 N<sub>2</sub> мкг /раст./час.

Уровень развития симбиотического аппарата оказал положительное влияние на формирование всех фотосинтетических показателей деятельности посевов сои (табл. 2).

При формировании фотосинтетических показателей прослеживается аналогичная закономерность. Моноинокуляция гломусом и ризоторфином обеспечивала увеличение площади листьев, фотосинтетического потенциала (ФП) и накопление абсолютно сухого вещества. Двойная инокуляция была также более эффективной. При совместном применении гломуса и ризоторфина была сформирована максимальная площадь листьев. В среднем за 3 года

она составила 29,2 тыс. м<sup>2</sup>/га, что на 9,7 тыс. м<sup>2</sup>/га больше, чем на абсолютном контроле. ФП возрос на 0,34 млн. м<sup>2</sup> дн./га, а ЧПФ – на 0,18 г/м<sup>2</sup> дн. Накопление сухого вещества превысило контрольный вариант на 1,7 т/га. Применение биопрепаратов на сое оказали положительное влияние на биологическую фиксацию, общее потребление азота растениями сои.

Таблица 2 – Показатели фотосинтетической деятельности посевов сои (в среднем за 2004–2006 гг.)

Показатели	Варианты			
	1	2	3	4
Максимальная площадь листьев, тыс. м <sup>2</sup> /га	19,5± 1,20	24,1± 1,48	25,5± 1,04	29,2± 1,36
ФСП, млн. м <sup>2</sup> дн./га	1,21± 0,05	1,29± 0,04	1,38± 0,05	1,55± 0,05
ЧПФ, г/м <sup>2</sup> дн.	4,25± 0,25	4,26± 0,28	4,32± 0,26	4,43± 0,25
Накопление АСВ, т/га	5,00± 0,39	5,44± 0,41	5,86± 0,40	6,70± 0,43

Раздельное применение гломуса и ризоторфина обеспечили повышение как общего потребления, так и биологического азота соей. Так, при внесении гломуса общий вынос азота возрос на 9 кг/га, а доля биологического азота в общем урожае с 26% увеличилась до 31%. В варианте с ризоторфином общий вынос азота был на 38 кг/га больше, а доля симбиотического азота возросла на 13% и составила 71 кг/га против 33 кг/га на контроле (табл. 3).

Таблица 3 – Эффективность симбиотической азотфиксации сои (в среднем за 2004-2006 гг.)

Показатели	Варианты			
	1	2	3	4
Потребление азота, кг/га всего	126	135	164	208
В т.ч. биологического	33	42	71	115
Доля биологического азота в формировании урожая, %	26	31	43	55

Двойная инокуляция гломусом и ризоторфином увеличила общее потребление азота в 1,6, а симбиотически фиксированного – 3,5 раза и его доля составила 55%.

Действие биопрепаратов положительно отразилось на урожайности и качестве семян сои. Наиболее высокий урожай семян был получен в варианте с одновременным применением микоризы и ризоторфина. В среднем за 3 года с каждого гектара посева было получено по 19,2 ц семян сои (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние биопрепаратов на урожайность и качество семян сои (в среднем за 2004-2006 гг.)

Показатели	Варианты			
	1	2	3	4
Урожайность, ц/га	11,9± 1,09	12,5± 1,11	15,1± 1,16	19,2± 1,21
Содержание белка, %	39,3	39,6	40,6	41,5
Содержание жира, %	17,9	17,8	17,6	17,4
Сумма жира и белка, %	57,2	57,4	58,2	58,9

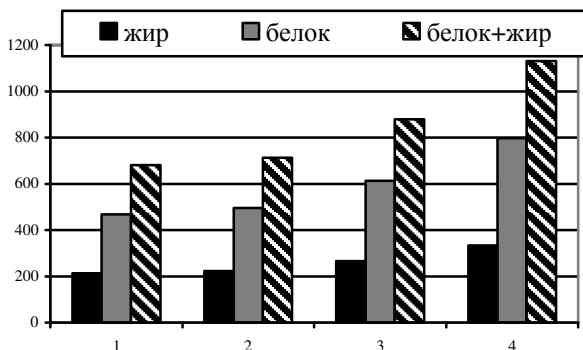
Содержание белка в семенах сои в этом варианте было максимальное – 41,5%, что на 2,3% выше, чем на контроле. При моноинокуляции микоризой сбор семян был практически на уровне контрольного варианта, а белковистость семян изменилась незначительно. Применение ризоторфина обеспечило повышение урожайности на 3,2 ц/га, а содержание белка в семенах возросло на 1,3%. Между содержанием жира и белка существует отрицательная корреляция, поэтому повышение белковистости семян сои сопровождалось незначительным снижением жира.

Максимальное его содержание было отмечено в варианте абсолютного контроля – 17,9%, а при использовании биопрепаратов оно снизилось на 0,1-0,5%. Однако в целом биопрепараты положительно повлияли на суммарное содержание белка и жира. Оно возросло на 0,2-1,7%.

Главным критерием продуктивности сои является сбор белка и жира с единицы площади.

Результаты наших исследований показали, что сбор белка в вариантах с отдельным применением микоризы и ризоторфина составил соответственно 495 и 613 кг/га, то есть он был на 27-145 кг/га выше, чем на контроле (рис.1).

Суммарный сбор жира и белка в этих вариантах составил, соответственно, 718 и 879 кг/га жира. Двойная инокуляция повысила сбор с 1 га посева на 121, а белка на 324 кг.



1. Контроль (без инокуляции);
2. Инокуляция *Glomus*;
3. Инокуляция *Rhizobium*.
4. Инокуляция *Rhizobium* + *Glomus*.

УДК 633.162.004.12:631.524.84(470.319)

Рисунок 1 – Сбор белка и жира с семенами сои, кг/га (в среднем за 2004-2006 гг.)

Общий сбор жира и белка при двойной обработке биопрепаратами был максимальным – 1131 кг/га, то есть он возрос на 65% по отношению варианта абсолютного контроля.

### Выводы

Таким образом, наши исследования показали, что совместное применение биопрепаратов на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов можно рекомендовать к использованию в условиях ЦЧР. Это позволит повысить урожайность и качество семян сои без применения дорогостоящих азотных и фосфорных удобрений, что является актуальным в экологически ориентированном сельскохозяйственном производстве.

### Литература

1. Gold M.V. Sustainable Agriculture: Definitions And Terms. 1999. Available At The USDA National Agriculture Library; [http://www.nal.usda.gov/afsic/AFSIC\\_pubs/srb\\_9902/htm](http://www.nal.usda.gov/afsic/AFSIC_pubs/srb_9902/htm).
2. Food, Agriculture, Conservation And Trade Act Of 1990 (FACTA)//Public Law. 1990. Government Printing Office. Washington, DC. P. 101-624.
3. Тихонович, И.А. Создание высокоэффективных микорастительных систем / И.А. Тихонович //С.-х. биология.–2000.–№1.–С.28–33.
4. Наумкина, Т.С. Инокуляция гороха посевного грибами арбускулярной микоризы и клубеньковыми бактериями для повышения продуктивности растений / Т.С. Наумкина, А.Ю. Борисов, О.Ю. Штарк //Сб. науч.-практ. конференции "Пути повышения устойчивости сельскохозяйственного производства в современных условиях.–Орел:ОрелГАУ, 2003.–С.124–131.
5. Лабутова, Н.М. Влияние инокуляции растений клубеньковыми бактериями и эндомикоризным грибом на урожай различных сортов сои и содержание белка и масла в семенах / Н.М. Лабутова, А.И. Поляков, В.А. Лях, В.Л. Гордон //Доклады РАСХН.–№2.–2004.–С.10–12.
6. Kawai, Y., Yamamoto Y. Increase in the Formation and Nitrogen Fixation of Soybean Nodules by Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza / Y. Kawai, Y. Yamamoto // Plant Cell Physiol., 1986, vol. 27(3).-P. 399–405.
7. Борисов, А.Ю. Эффективность использования совместной инокуляции гороха посевного грибами арбускулярной микоризы и клубеньковыми бактериями / А.Ю. Борисов, Т.С. Наумкина, О.Ю. Штарк и др. //Доклады РАСХН.–№2.–2004.–С.12–14.
8. Посыпанов, Г.С. Методы изучения биологической фиксации азота воздуха / Г.С. Посыпанов. – М.: Агропромиздат, 1991.–300 с.
9. Ничипорович, А.А. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах / А.А. Ничипорович, Л.Е. Строгонова, С.Н. Чмора, М.П. Власова. – М.: Агропромиздат, 1961.–180 с.