

ВЛИЯНИЕ ОДНОВРЕМЕННОЙ ИНОКУЛЯЦИИ И ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН КОМПЛЕКСОМ ХЕЛАТИРОВАННЫХ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ НА АЗОТФИКСАЦИЮ И УРОЖАЙ СОИ

П.Н. Маменко, Г.А. Прядкина, С.Я. Коць, О.О. Стасик

Институт физиологии растений и генетики НАН Украины, Киев, Украина

e-mail: p_mamenko@ukr.net

Введение

Сегодня нашу планету населяет более 7 миллиардов человек. И то, что количество населения продолжает расти ускоренными темпами обуславливает актуальность поиска эффективных методов увеличения производства продовольствия. Необходимость этого усугубляется наблюдающимися изменениями климата, ограниченностью площадей пахотных земель на планете, а также отмеченным в разных странах торможением ежегодного прироста урожайности важнейших сельскохозяйственных культур (рисунок 1) [1, 2].

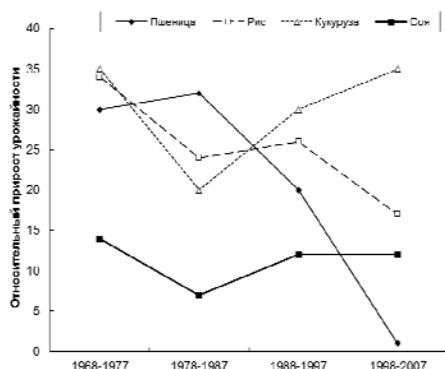


Рисунок 1 – Среднемировой относительный прирост урожайности, % по отношению к началу соответствующего десятилетия, важнейших зерновых [3] и зернобобовых [4] культур

В большинстве стран мира бобовым культурам отводят ведущую роль в преодолении трудностей, обусловленных энергетическим кризисом, дефицитом белка и необходимостью

охраны окружающей среды. Одним из важных стратегических высокобелковых продуктов является соя, производство которой может страховать продовольственную безопасность [5].

Наиболее эффективным и экологически безопасным методом повышения продуктивности бобовых культур и снижения себестоимости урожая является инокуляция семян азотфиксирующими бактериями-микросимбионтами. Использование феномена биологической азотфиксации позволяет обеспечивать растения дешёвым и экологически безопасным азотом за счет его фиксации бактериями из атмосферы.

Широко используемым методом повышения эффективности симбиотических систем и продуктивности бобовых растений является применение удобрений на основе микроэлементов. Необходимость использования последних обусловлена их важной ролью в метаболизме растения. В частности, они позволяют растениям более эффективно использовать основные элементы питания, входят в состав ферментов и ферментных систем, без которых невозможно протекание биохимических процессов. Недостаток микроэлементов может привести к падению урожайности, а также снижению устойчивости к болезням. Кроме того, обеспечение микроэлементами растений в значительной степени определяет качество урожая культурных растений и произведенных из них продуктов питания и тем самым оказывает существенное влияние на качество жизни людей.

Большинство известных сейчас микроудобрений имеют хелатную форму, что способствует более полному усвоению элементов растениями. Еще одно-два десятилетия назад их получали с помощью химических реакций, а сейчас уже имеется выбор микроудобрений, полученных с помощью нанотехнологических приемов. Тот факт, что объем мирового рынка технологий, основанных на применении наноматериалов, достигает 100 млрд. евро в год [6], подтверждает важную роль нанотехнологий – отрасли, которая

быстрыми темпами развивается во всех странах. Нанотехнологические объекты, отличающиеся микроскопическими размерами (меньше 100 нм), имеют принципиально новые качества, например высокую проницаемость. Это обуславливает актуальность изучения их использования в сельскохозяйственном производстве.

Один из микроэлементных комплексов, полученных в Украине нанотехнологическими методами, «Аватар 1», имеет в своем составе 7 наиболее важных для растительного метаболизма микроэлементов: цинк, магний, марганец, железо, медь, кобальт, молибден [7]. В качестве лигандов этих металлов выступают различные карбоновые кислоты (таблица 1).

Таблица 1 – Элементный состав микроудобрения «Аватар 1»

Металлы	Минимум	Максимум	Карбоксилаты кислот (0,5–10 г/л)
Co	0,0001	0,0025%	Винная, яблочная, фолиевая, янтарная, малеиновая, аскорбиновая, лимонная или их комбинации
Cu	0,01	0,08%	
Fe	0,0015	0,008%	
Mg	0,01	0,08%	
Mn	0,0005	0,005%	
Mo	0,00001	0,0025%	
Zn	0,001	0,007%	

Целью данной работы была оценка эффективности применения одновременной инокуляции семян штаммом ризобий и обработки препаратом «Аватар 1» для повышения азотфиксирующей активности и продуктивности симбиотических систем сои.

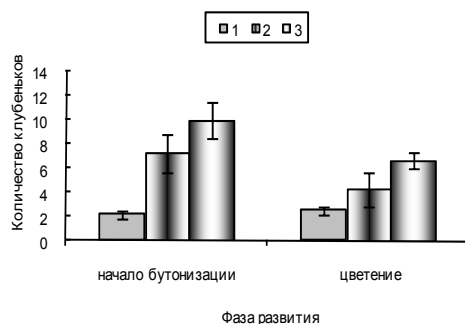
Методы исследований

Полевые эксперименты в Черкасской области Украины были проведены на растениях сои (*Glycine max. L. Merr.*) сорта Васильковская (среднеранний). Размер опытного участка составлял 20 м², повторность – 5-кратная. Контрольным вариантом служил вариант без инокуляции, опытными – вариант с инокуляцией семян штаммом-стандартом *Bradyrhizobium japonicum* 6346 и два варианта с одновременной инокуляцией и внесением микроэлементного комплекса «Аватар 1» в дозах 1 и 2 л раствора на т семян.

Отбор растений для определения азотфиксирующей активности проводили в фазы начала бутонизации и цветения. Активность фиксации азота определяли ацетиленовым методом [8, 9] на газовом хроматографе «Agilent GC system 6850» (США) с пламенно-ионизационным детектором. Разделение проводили на колонке (Supelco Porapak N) при температуре термостата 55°C и детектора – 150°C. Газом-носителем был гелий (20 мл за 1 минуту). Объем анализируемой пробы газовой смеси составлял 1 см³. Как стандарт использовали чистый этилен (Sigma-Aldrich, № 536164, США). Повторность определений 5-кратная.

Результаты и обсуждение

Результаты исследований формирования симбиотического аппарата у сои показали, что в вариантах с одновременной обработкой семян сои комплексом микроудобрений и их инокуляцией штаммом клубеньковых бактерий, по сравнению с вариантом с инокуляцией, достоверно увеличивались количество клубеньков: в 3,3 и 1,7 раза, соответственно, в фазы начала бутонизации и цветения при внесении 1 л/т и в 4,5 и 2,7 – 2 л/т (рисунок 2).



Условные обозначения здесь и на рисунках 3 и 4:

1 – инокуляция штаммом-стандартом *B. japonicum* 6346; 2 – одновременная инокуляция *B. japonicum* 6346 и обработка семян «Аватар 1» (1 л/га); 3 – одновременная инокуляция *B. japonicum* 6346 и обработка семян «Аватар 1» (2 л/га)

Рисунок 2 – Влияние одновременной инокуляции и предпосевной обработки семян комплексом «Аватар 1» на количество клубеньков (шт./растение) у сои сорта Васильковская

Масса клубеньков по сравнению с вариантом с инокуляцией, также достоверно увеличивалась в 3,5 и 3 раза, соответственно, в фазы начала бутонизации и цветения при внесении 1 л/т и в 6 и 4 раза при внесении 2 л/т (рисунок 3).

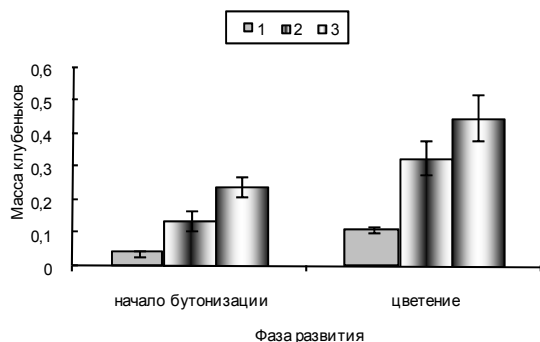


Рисунок 3 – Влияние одновременной инокуляции и предпосевной обработки семян комплексом «Аватар 1» на массу клубеньков (г/растение) у сои сорта Васильковская

Азотфиксирующая активность клубеньков сои в варианте с инокуляцией штаммом-стандартом была неизменной в период проведения отборов и составила $0,10 \pm 0,02$ мкмоль C_2H_4 /(растение x час) (рисунок 4).

Вместе с тем применение одновременной инокуляции семян сои штаммом клубеньковых бактерий и их обработки комплексом микроудобрений в дозе 1 л/т приводило к увеличению азотфиксирующей активности до $0,27 \pm 0,03$ в фазу начала бутонизации и $0,44 \pm 0,14$ мкмоль C_2H_4 /(растение x час) в фазу цветения. При увеличении дозы микроудобрения до 2 л/т активность фиксации азота увеличивалась до $0,30 \pm 0,04$ в период бутонизации и $0,77 \pm 0,10$ мкмоль C_2H_4 /(растение x час) во время цветения.

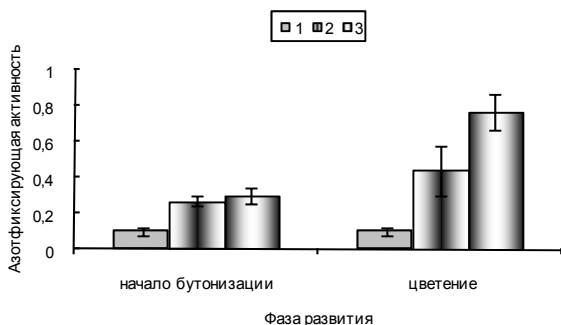
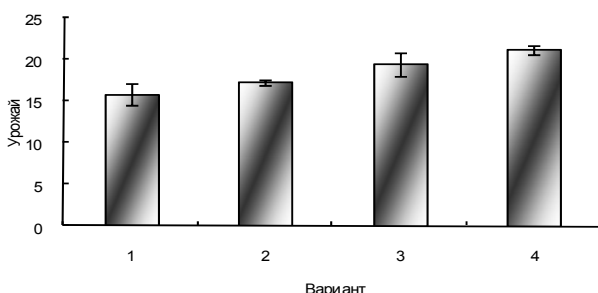


Рисунок 4 – Влияние одновременной инокуляции и предпосевной обработки семян комплексом «Аватар 1» на азотфиксирующую активность (мкмоль C_2H_4 /(растение x час)) клубеньков сои сорта Васильковская

Интегральным показателем эффективности симбиотической систем является урожайность растений. Средняя урожайность сои Васильковская в регионе проведения исследований составляет около 28 ц/га. Однако ее зерновая продуктивность в год проведения эксперимента была почти вдвое ниже – $15,9 \pm 1,3$ ц/га. Это было обусловлено неблагоприятными погодными условиями этого года – повышенной, по сравнению со средней многолетней температурой воздуха и отсутствием осадков.

Инокуляция семян сои штаммом-стандартом 6346 не оказала достоверного влияния на приrost урожая, по сравнению с контрольным вариантом (рисунок 5).



- 1– контроль (без инокуляции);
- 2– инокуляция штаммом-стандартом 6346;
- 3– одновременная инокуляция штаммом-стандартом 6346 и обработка семян «Аватар 1» (1 л/га);
- 4– одновременная инокуляция штаммом-стандартом 6346 и обработка семян «Аватар 1» (2 л/га)

Рисунок 5 – Влияние одновременной инокуляции и предпосевной обработки семян комплексом «Аватар 1» на урожайность, ц/га, сои сорта Васильковская

В то же время, инокуляция семян сои с одновременным внесением комплекса «Аватар 1» в дозе 1 л/т повысила урожайность, по сравнению с контрольным вариантом, на 23, а в дозе 2 л/т – на 33%. По сравнению с вариантом с инокуляцией – разница также была достоверной и составила соответственно 13 и 22%

Согласно литературным данным, микроэлементы существенно улучшают иммунитет растений к различным заболеваниям [10], а также являются катализаторами биохимических реакций, оказывая влияние на направленность биохимических процессов и способствуют увеличению синтеза и активности ферментов [11, 12]. Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что одновременная предпосевная инокуляция семян сои азотфиксирующими бактериями и обработка комплексом хелатированных микроэлементов, полученных с применением нанотехнологий, оказала позитивное влияние на формирование симбиотического аппарата сои и его азотфиксирующую активность, что, в свою очередь, способствовало формированию более высокого урожая зерна данной культуры.

Выводы

Применение комплексной предпосевной обработки семян сои ризобиями и удобрением «Аватар 1», содержащим микроэлементы в виде аквахелатов, способствует более эффективному формированию симбиотического аппарата у сои, повышает его азотфиксирующую активность и положительно влияет на формирование зерновой продуктивности данной культуры. Наиболее эффективной оказалась доза препарата 2 л на тонну семян.

Список литературы

1. Recent patterns of crop yield growth and stagnation / D.K. Ray [et al.] // Nature communication. – 2012. – Vol. 3. – P. 1293.
2. Моргун, В.В. Фізіологічні основи формування високої продуктивності зернових злаків / В.В. Моргун, В.В. Швартау, Д.А. Кірізій // Фізіологія рослин: проблеми та перспективи розвитку. – К.: Логос, 2009. – С. 11–42.
3. Long, S.P. More than taking the heat: crops and global change / S.P. Long, D.R. Ort // Plant Biology. – 2010. – Vol. 13. – P. 241–248.
4. Masudaa, T. World soybean production: Area harvested, yield, and long-term projections / T. Masudaa, P.D. Goldsmith // International Food and Agribusiness Management Review. – 2009. – Vol. 12, № 4. – P. 143–162.
5. Коць, С.Я. Биологическая фиксация азота: бобово-ризобияльный симбиоз. Монография в 4-х томах. – Т. 2. Коць С.Я. [и др.] – Киев: Логос, 2010. – 403 с.
6. Наноматериалы и нанотехнологии. [Электронный ресурс]: <http://nano-tm.com/rus/view.php?gr=2&z=15>.
7. Патент України №37412. Спосіб отримання екологічно чистих наночастинок електропровідних матеріалів «Електроімпульсна абляція». МПК В01J 2/02. Опубл. 25.11.2008. Бюл. № 22.
8. Старченков, Е.П. Связывание молекулярного азота клубеньковыми бактериями в симбиотических и культуральных условиях. Е.П. Старченков [и др.] – Киев: Наук. думка, 1984. – 224 с.
9. The acetylene-ethylene assay for N₂-fixation: Laboratory and field evaluation / R.W.F. Hardy [et al.] // Plant Physiol. – 1968 – Vol. 43, № 8. – P. 1185–1207.
10. Власюк, П.А. Значение микроэлементов в нуклеиновом обмене растений // Физиология и биохимия растений. – № 3. – 1971. – С. 276.
11. Школьник, М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – М.: Наука, 1974. – 324 с.
12. Fageria, N.K. Micronutrients in crop production / N.K. Fageria, V.C. Baligar, R.B. Clark // Advances in Agronomy. – 2002. – Vol. 77. – P. 185–268.