

ЭФФЕКТИВНОСТЬ БОБОВО-РИЗОБИАЛЬНОГО СИМБИОЗА НУТ – БАКТЕРИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

**Ю.В. Лактионов, к.б.н., С.Н. Белоброва, к.с.-х.н., А.П. Кожемяков, к.б.н., Н.И. Воробьев, к.техн.н.,
ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Н.Х. Сергалиев, к.б.н., Р.К. Аменова,
А.С. Тлепов, к.с.-х.н., Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жансир хана**

Работа поддержана Госконтрактом Минобрнауки №14.512.11.0031 от 07 марта 2013 г.
Госконтрактом Минобрнауки № 16.М04.11.0013 от 29.04.2011

Многофакторный анализ биометрических данных бобово-ризобияльного симбиоза нута (*Cicer arietinum* L.) – бактерии (*Mezorhizobium ciceri*) показал, что в сухостепной зоне Приуралья наибольшая эффективность симбиоза достигается при использовании клубеньковых бактерий штаммов 522 и 527.

Ключевые слова: бобово-ризобияльный симбиоз, клубеньковые бактерии, нут, минеральные удобрения, многофакторный анализ биометрических данных.

Зернобобовые культуры – высококачественный источник получения пищевого белка. В условиях сухостепной зоны в Нижнем Поволжье, Саратовской, Самарской, Оренбургской, Пензенской, Астраханской, Омской областей и Республики Казахстан среди зернобобовых культур наибольшее распространение получил нут. В нестабильных экологических условиях нут не полегает, в меньшей степени поражается болезнями и повреждается вредителями, не осыпается и не растрескивается при созревании, а главное – жаростоек и засухоустойчив [1].

Нут – один из лучших предшественников в севооборотах в засушливых условиях Юго-Востока. В нем содержится до 31% белка, 4-7 жира, 55-60% углеводов, витамины А, В₁, В₂, В₆, С, РР, а также макро- и микроэлементы. Нут, как и соя, содержит в семенах масло (до 8%), которое богато ненасыщенными жирными кислотами [11, 13].

Повышению эффективности бобово-ризобияльных симбиозов (БРС) способствует инокуляция семенного материала микробиологическими препаратами, содержащими высокоэффективные штаммы клубеньковых бактерий [8; 10]. В БРС атмосферный азот трансформируется в минеральные формы и затем накапливается в корневой и надземной биомассах растений, что способствует высокой семенной продуктивности растений и увеличению в семенах содержания белка [3; 5].

На начальных этапах развития БРС в почве должны присутствовать небольшие «стартовые» дозы азотных удобрений. Однако на последующих стадиях азотные удобрения могут ингибировать азотфиксирующие процессы и снизить накопление азота в растениях. Поэтому азотные удобрения рекомендуется применять только в оптимальных дозах [4; 14]. Фосфорные удобрения также необходимы для повышения эффективности БРС [6].

Цель исследований – оценить эффективность БРС, включающих в себя различные штаммы клубеньковых бактерий нута – *Mezorhizobium ciceri*. Оценку дают по количественным и качественным характеристикам БРС и по продуктивности нута, выращиваемого в условиях сухостепной зоны Приуралья на фоне азотно-фосфорных удобрений.

Методика. Исследования проводили на темно-каштановых почвах в сухостепной зоне Приуралья (Республика Казахстан). Почва опытного участка темно-каштановая среднесуглинистая. Содержание гумуса в пахотном слое 2,5 %. Обеспеченность доступными формами фосфора низкая (12,4 мг/кг почвы), азота повышенная (42,6 мг/кг почвы). В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, фосфорного – простой суперфосфат. Варианты опыта различались предпосевным внесением азотно-фосфорных удобрений в почву (фактор А): 1 – без удобрений; 2 – N₂₀; 3 – P₂₀; 4 – N₂₀P₂₀. Моноинокуляция семян нута осуществлялась пятью штаммами

клубеньковых бактерий (*Mezorhizobium ciceri*), отобранными из коллекции ГНУ ВНИИСХМа (фактор В): 1 – без инокуляции семян; 2 – штамм Н-18; 3 – штамм 527; 4 – штамм 065; 5 – штамм 522; 6 – штамм Н-27. Повторность опыта – трехкратная. Площадь учетной делянки 12 м². В исследованиях применяли общепринятую для данного региона полевую агротехнику [12]. В опытах использовали сорт нута Юбилейный (норма высева – 300 кг/га). Основные учеты и наблюдения осуществляли по общепринятой методике [2; 3; 9].

Многофакторный регрессионный анализ экспериментальных данных проводили с помощью вычислительных процедур факторного анализа [7]. При этом в многомерном пространстве экспериментальных данных определялась ось координат (min-компонента), отличающаяся минимальной дисперсией данных на эту ось. Направляющие косинусы углов min-компоненты (факторные нагрузки) использовали в качестве коэффициентов уравнения множественной регрессии:

$$F_j = C_{M,j} \cdot M_i + C_{N,j} \cdot N + C_{P,j} \cdot P + C_{NP,j} \cdot N \cdot P,$$

где F_j – суммарный эффект действия микроорганизмов и азотно-фосфорных удобрений на j -ую фенотипическую характеристику нута; $-1 < C_{M,j} < +1$ – факторная нагрузка для вклада в F_j азотфиксирующего действия i -го штамма; $-1 < C_{N,j}, C_{P,j} < +1$ – факторные нагрузки для аддитивного вклада в F_j азотных и фосфорных удобрений; $C_{NP,j}$ – факторная нагрузка для мультипликативного вклада в F_j азотно-фосфорных удобрений; $M_i = 0/1$ – отсутствие/присутствие i -го штамма в биосистеме; $N = 0/1$, $P = 0/1$ – неиспользование/использование удобрений.

В проводимом полевом опыте контролировались фенотипические характеристики нута*: (10) масса семян, г/м²; (8) содержание белка в семенах, %; (6) число бобов на 1 растении; (6) доля продуктивных бобов, %; (4) число растений на 1 м²; (4) число клубеньков на 1 растении; (3) масса растений, г/м²; (3) масса корней, г/раст.; (1) высота растения, см. Эффективность взаимодействия штаммов с нутом оценивали по среднему взвешенному значению факторных нагрузок ($C_{CP,i}$):

$$C_{CP,i} = \frac{\sum_{j=1}^9 (w_j \cdot C_{M,i,j})}{\sum_{j=1}^9 (w_j)},$$

где w_j – величина хозяйственной значимости j -ой фенотипической характеристики растений, балл.

Результаты и их обсуждение. В условиях Казахстана почва опытного участка не содержала аборигенных рас клубеньковых бактерий (рис. 1). Поэтому инокуляция семян приводила к интенсивному образованию клубеньков на корнях нута. Внесение азотных (N₂₀) и фосфорных (P₂₀) удобрений в сочетании с инокуляцией семян способствовало увеличению числа клубеньков в 2-7 раз. Наибольшее количество клубеньков образовали штаммы 065, Н-18, 527. Наибольшая нитрогеназная активность наблюдалась в этих же вариантах.

На рисунке 2 показан положительный эффект от внесения минеральных удобрений на массу семян нута. Наибольший эффект от удобрений получен при совместном внесении азот-

* В скобках указаны баллы хозяйственной значимости фенотипической характеристики нута.

ных и фосфорных удобрений. При инокуляции семян штаммом 527 масса семян была наибольшей. Достоверные прибавки были также со штаммами Н-18 и 522.

Анализ прибавок массы семян нута от инокуляции свидетельствует, что инокуляция семян штаммом 522 без внесения минеральных удобрений увеличила прибавку в 2 раза по сравнению с контролем. Однако при внесении минеральных удобрений эффективность симбиоза с этим штаммом снижалась, тогда как, инокуляция семян штаммами 527 и Н-18 сохраняла эффективность симбиоза при сочетании с фосфорными удобрениями.

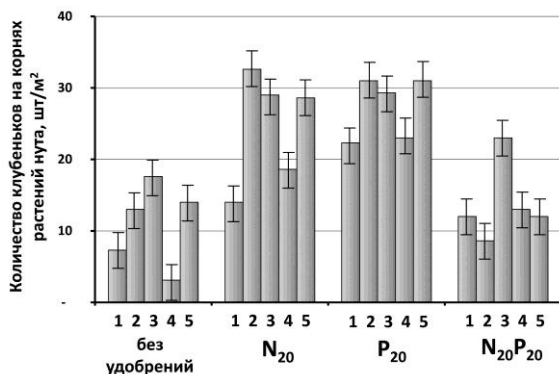


Рис. 1. Влияние азотно-фосфорных удобрений на процессы образования клубеньков на корнях растений нута: (1) – шт. Н-27. (2) – шт. 065. (3) – шт. Н-18. (4) – шт. 522. (5) – шт. 527.

Действие клубеньковых бактерий на содержание белка в семенах было наибольшим в варианте без внесения удобрений. Так, при обработке семян штаммами 522 и Н-27 и без удобрений содержание белка увеличилось на 7-9% по сравнению с контролем. Внесение $N_{20}P_{20}$ без инокуляции семян также способствовало увеличению накопления белка в семенах, а инокуляция семян на фоне минеральных удобрений снижала содержание белка в семенах нута.

С помощью факторного анализа были вычислены факторные нагрузки азотфиксирующего действия микроорганизмов на фенотипические характеристики нута (табл.). По этим показателям выделяется штамм 527, который обладает наибольшим значением средневзвешенной факторной нагрузки.

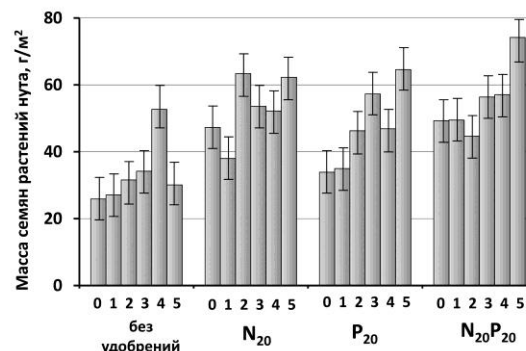


Рис. 2. Влияние удобрений и симбиотической азотфиксации на массу семян растений нута. (0) – без инокуляции ризобиями, (1) – шт. Н-27. (2) – шт. 065. (3) – шт. Н-18. (4) – шт. 522. (5) – шт. 527.

Закключение. Исследования показали, что в условиях степной зоны Приуралья на темно-каштановых почвах наибольшей эффективностью обладают два штамма: 522 (без внесения минеральных удобрений) и 527 (с предпосевным внесением азотно-фосфорных удобрений). На почвах с низким содержанием фосфора внесение фосфорных удобрений усиливает эффект от инокуляции клубеньковыми бактериями. Совместное внесение азотных и фосфорных удобрений ингибирует процессы образования клубеньков, но способствует увеличению массы семян в 1,5-2,5 раза.

Факторные нагрузки, характеризующие величину вклада симбиотической азотфиксации в фенотипические характеристики растений нута

Штамм микроорганизма	Фенотипические характеристики растений нута и их хозяйственная значимость, балл									Средневзвешенное значение
	Масса семян	Содержание белка в семенах	Число бобов на 1 растении	Доля продуктивных бобов	Число растений на 1 м²	Число клубеньков на 1 растении	Масса растений	Масса корней	Высота растения	
	10*	8	6	6	4	4	3	3	1	
527	0,150	-0,030	0,055	0,147	-0,025	0,047	0,103	0,009	-0,010	0,064
522	0,060	0,152	0,016	-0,002	0,027	-0,104	0,079	-0,112	-0,037	0,032
Н-18	0,037	-0,160	0,041	-0,013	0,026	0,125	0,017	0,047	0,003	0,001
065	-0,009	-0,067	0,033	0,012	-0,156	0,045	0,023	0,138	0,151	-0,003
Н-27	-0,136	0,107	-0,072	-0,065	0,009	-0,117	-0,153	-0,074	-0,094	-0,056

*Баллы хозяйственной значимости соответствующей фенотипической характеристики растений.

Литература

1. Балашов В.В., Патрин И.Т., Балашов А.В. Нут – зерно здоровья. – Волгоград, 2002. 2. Доспехов Б.А. Методика опытного дела. – М.: Колос, 1985. 3. Доросинский Л.М., Кожмяков А.П. Ризоторфин и производство кормового белка //Кормопроизводство.-1981.-№ 3.-С. 18. 4. Кожмяков А.П. Основные итоги работы географической сети опытов с нитрагином. В сб.: Технология производства и эффективность бактериальных удобрений. – М., 1982. С. 19-27. 5. Кожмяков А.П. В сб. Микроорганизмы как компонент биогеоценоза. – Алма-Ата, 1982.-С. 195-196. 6. Кожмяков А.П., Доросинский Л.М. Биологический азот – альтернатива применению минеральных азотных удобрений в земледелии. В сб.: Труды ВНИИСХМ. 1990, 60.-С. 18-26. 7. Кулачев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. 4-е изд.,-М:ФОРУМ: ИНФРА-М, 2006.- 512 с. 8. Методические указания по проведению регистрационных испытаний новых форм удобрений,

биопрепаратов и регуляторов роста растений / Под ред. А.А.Завалина, А.И.Еськова.- М.: ВНИИА; Владимир: ВНИПТИОУ, 2009.- 101с. 9. Основы опытного дела в растениеводстве /Под ред. В.Е.Ещенко и М.Ф.Трифоновой. -М., 2009.- 268 с. 10. Проворов Н.А., Воробьев Н.И. Генетические основы эволюции растительно-микробного симбиоза/ Под ред. И.А.Тихоновича.- СПб., 2012.-400 с. 11. Пыльнев В.В., Колосов Ю.Б., Хунацария Т.И. и др. Частная селекция полевых культур/ Под ред. В.В. Пыльнева.- М.: КолосС, 2005.-552 с. 12. Система ведения сельского хозяйства Западно-Казахстанской области.- Уральск, 2004.- 276 с. 13. Федотов В.А. Нут (Cicer arietinum): монография / В.А. Федотов, О.В. Столяров, Н.И. Демченко.- Воронеж: изд-во ВГУ, 2004.- 256с. 14. Чундерова А.И., Кожмяков А.П. Влияние удобрений и пестицидов на биологическую фиксацию атмосферного азота. В сб.: Охрана природы и применение химических средств в сельском и лесном хозяйстве. -Л.: Наука, 1981.-С. 59-64.

EFFICIENCY OF BEAN-RHIZOBIUM SYMBIOSIS UNDER MINERAL FERTILIZATION

Yu.V. Laktionov¹, S.N. Belobrova¹, A.P. Kozhemyakov¹, N.I. Vorob'ev¹, N.Kh. Sergaliev², R.K. Amenova², A.S. Tlepov²

¹All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, Russian Academy of Agricultural Sciences, sh. Podbel'skogo 3, Pushkin 8, St. Petersburg, 196608 Russia E-mail: Laktionov@pop3.ru

²Zhangir Khan West Kazakhstan Agro-Technical University, ul. Zhangir Khan 51, Ural'sk 090009 Kazakhstan

*Multiple-factor analysis of biometric data on the bean–rhizobium [chickpea (*Cicer arietinum* L.)–nodule bacteria (*Mesorhizobium ciceri*)] symbiosis has been shown that the greatest efficiency of symbiosis in a dry desert Cisural area is reached when using root nodule bacterium strains 522 and 527.*

Keywords: bean–rhizobium symbiosis, nodule bacteria, chickpea, mineral fertilizers, multiple-factor experiment of biometric data.