

УДК 631.46:579.64:338.314

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНОКУЛЯЦИИ СЕМЯН ЧЕТЫРЕХ ВИДОВ ГОРЧИЦ АССОЦИАТИВНЫМИ АЗОТФИКСИРУЮЩИМИ ШТАММАМИ РИЗОБАКТЕРИЙ

¹Лебедев В.Н., ²Ураев Г.А.

¹ФГБОУ ВПО «Российский государственный педагогический университет
им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

Проведен анализ данных многолетних исследований, выполненных на биостанции им. А.И. Герцена (пос. Вырица Гатчинского района Ленинградской области) по выявлению эффективных штаммов ассоциативных ризобактерий для хозяйственно ценных растений, относящихся к различным видам горчиц (горчица белая – сорт Чергинская (к-4219), горчица сарептская – сорт Донская-5 (к-4345), горчица черная – сорт Tubra (к-2643), горчица абиссинская – сорт BRA 1152/85 (к-4705)). Показано, что применение наиболее эффективных для каждой выращиваемой культуры ассоциативных штаммов ризобактерий в наибольшей степени стимулирует физиологические процессы, увеличивает биомассу как надземных органов. Наилучшие результаты получены при использовании бактериальных препаратов: мизорина (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) и флавобактерина (*Flavobacterium sp.*, штамм Л 30). Проведена оценка экономической эффективности.

Ключевые слова: фиксация молекулярного азота, инокуляция, продуктивность, минеральное питание, стимуляция роста, интродукция, PGPR, дерново-слабоподзолистая супесчаная почва, критический период, засуха, переувлажнение почвы, фиторегуляторы, ассоциативные ризобактерии, устойчивость, эффект, экономический эффект

ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE INOCULATION OF SEEDS OF FOUR KINDS OF MUSTARD ASSOCIATIVE NITROGEN-FIXING STRAINS OF RHIZOBACTERIA

¹Lebedev V.N., ²Uraev G.A.

¹Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, e-mail: antares-80@yandex.ru;

²Petersburg State Transport University, Sankt-Petersburg, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

We have done the analysis of the results that was carried out at Herzen State Pedagogical University on Biological Station, Saint Petersburg, Russia. The article presents the data analysis aimed at selecting efficient associative strains for a variety of economically valuable of plants belonging to various kinds of mustard (the genus: *Sinapis* and *Brassica*). The selected strains enhance plant physiological activities, increase plant biomass, increase and improve crop yields. The best results are received when using the following bacterial preparations: mizorin (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) and flavobacterin (*Flavobacterium sp.*, strain L 30). We have done the the estimation of economic efficiency we have done the estimation of economic efficiency.

Keywords: nitrogen fixation, inoculation, productivity, mineral nutrition, Plant Growth-Promoting, Introduction, Rhizobacteria (PGPR), sod-weakpodzol sandy-loam soil, critical period, drought, waterlogging of soil, phyto regulators, associative rhizobacteria, stability, effect, economic effect

В настоящее время в научном мире наблюдается повышенный интерес к ассоциативным штаммам ризобактерий, способным оказать положительное влияние не только на продуктивность растений и на состояние окружающей среды, но и на экономическую эффективность сельскохозяйственного предприятия. Созданные на их основе бактериальные препараты имеют очевидное преимущество, поскольку не оказывают химическую нагрузку на почву, подобно минеральным удобрениям.

Цель работы заключалась как в определении действия инокуляции семян некоторых однолетних кормовых капустных культур бактериальными штаммами на ростовые процессы и продуктивность в усло-

виях полевых опытов, так и в оценке экономического эффекта и эффективности от их применения. Нами использовались 4 вида капустных растений: горчица белая (*Sinapis alba* L.) – сорт Чергинская (к-4219), горчица сарептская (*Brassica juncea* (L.) Czern.) – сорт Донская-5 (к-4345), горчица черная (*Brassica nigra* (L.) Koch) – сорт Tubra (к-2643), горчица абиссинская (*Brassica carinata* A. Braun) – сорт BRA 1152/85 (к-4705). Продуктивный потенциал этих культур в России считается полностью не реализованным [1].

Инокуляция семян данных растений проводилась следующими бактериальными препаратами: агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10), бактосан (*Bacillus*

subtilis, Ч-13), мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) и флавобактерин (*Flavobacterium sp.* штамм 30). Данные бактериальные препараты были получены ВНИИСХМ, а семена сортов капустных растений ВНИИ ВИР им. Н.И. Вавилова.

Опыты проведены в полевых условиях агробиостанции РГПУ им. А.И. Герцена в пос. Вырица в период 2004–2014 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве, характеризующейся средней обеспеченностью гумуса, слабой кислой реакцией среды и средним содержанием фосфора и калия.

Ростовые процессы капустных растений при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями

Процессы, протекающие в фазу формирования семян, связаны с ходом обмена веществ на всех последующих стадиях морфогенеза растения. Поэтому в наших исследованиях этот показатель служил своеобразным тестом, позволяющим прогнозировать дальнейшее действие того или иного ассоциативного штамма (табл. 1).

Ростовые процессы являются интегральным показателем физиологического состояния растений и внешних условий, в которых они выращиваются [8–10]. Оценка исходного материала в этом плане очень важна, так

как соотношение линейных и весовых показателей в развитии растений определяет количество и качество урожая [4, 9]. В наших исследованиях у всех 4-х видов горчиц наблюдалось увеличение высоты, но наиболее эффективно оно проявилось в вариантах с применением флаво- и артробактерий – до 114,6–124,5% (табл. 2).

В связи с тем, что высота растений формируется главным образом за счет изменения длины междоузлий и отчасти числа узлов, то на момент укоса (фаза цветения) нами одновременно определялась длина междоузлий. Так, более всего междоузлия удлиняются при обработке семян горчицы сарептской мизорином на 22,6% (или до 9,4 см) и флавобактерином на 20,0% (или до 9,2 см), относительно контроля – 7,7 см (табл. 3). У горчицы абиссинской наблюдается наиболее заметное увеличение длины междоузлий на 21,6% (или до 10,3 см) по сравнению с контролем – 8,5 см. Аналогичные результаты по стимулирующему эффекту ассоциативных штаммов ризобактерий были получены в других вариантах полевых опытов. Таким образом, максимальное удлинение междоузлий отмечено у горчицы сарептской и горчицы абиссинской, у которых ранее нами отмечалась наибольшая высота главного побега.

Таблица 1

Всхожесть капустных растений при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями (средние многолетние данные)

Варианты	Горчица белая	Горчица сарептская	Горчица черная	Горчица абиссинская
	% / Δ*	% / Δ	% / Δ	% / Δ
Контроль	62,8 / –	62,9 / –	62,6 / –	69,5 / –
Агрофил	70,7 / +12,6	67,6 / +7,5	68,6 / +9,6	79,5 / +14,4
Бактосан	67,6 / +7,6	68,1 / +8,3	68,7 / +13,4	72,5 / +4,3
Мизорин	75,9 / +20,9	74,6 / +18,6	74,3 / +18,7	78,0 / +12,2
Флавобактерин	74,9 / +19,3	71,2 / +13,2	69,7 / +11,3	87,5 / +25,9
НСР ₀₅	4,4	3,7	3,4	2,0

* П р и м е ч а н и е . Δ – % отклонения от контроля.

Таблица 2

Влияние различных штаммов ассоциативных бактерий на высоту капустных растений (средние многолетние данные)

Варианты	Горчица белая	Горчица сарептская	Горчица черная	Горчица абиссинская
	см / %	см / %	см / %	см / %
Контроль	98,1 / 100,0	85,2 / 100,0	61,1 / 100,0	96,0 / 100,0
Агрофил	107,8 / 109,9	91,5 / 107,4	71,9 / 117,7	107,4 / 111,9
Бактосан	105,9 / 107,9	93,5 / 109,7	71,9 / 117,7	100,4 / 104,5
Мизорин	112,9 / 115,1	98,0 / 115,0	74,5 / 121,9	105,2 / 109,5
Флавобактерин	112,5 / 114,6	95,2 / 111,7	76,1 / 124,5	104,2 / 108,5
НСР ₀₅	4,8	4,5	8,3	4,8

Таблица 3

Изменение длины междоузлий капустных растений при обработке бактериальными препаратами (средние многолетние данные)

Варианты	Горчица белая	Горчица сарептская	Горчица черная	Горчица абиссинская
	см / %	см / %	см / %	см / %
Контроль	11,3 / 100,0	7,7 / 100,0	9,6 / 100,0	8,5 / 100,0
Агрофил	11,9 / 105,6	8,3 / 107,8	10,0 / 104,7	9,6 / 112,9
Бактосан	11,7 / 103,8	8,5 / 110,9	10,1 / 110,9	9,4 / 110,2
Мизорин	13,7 / 121,9	9,4 / 122,6	11,0 / 114,6	10,3 / 121,6
Флавобактерин	13,2 / 116,9	9,2 / 120,0	10,9 / 113,5	10,3 / 121,2
НСР ₀₅	1,6	1,2	1,4	1,1

Продуктивность зеленой массы капустных растений при использовании ассоциативных штаммов бактерий

В наших опытах для оценки продуктивности однолетних кормовых капустных культур мы анализировали интегральный показатель – формирование зеленой биомассы растений, то есть общий урожай сухой массы надземных органов. По данным некоторых авторов [1], капустные растения способны дать до 300–400 ц/га зеленой массы за один вегетационный период (от всходов до фазы полного цветения), который длится в условиях Ленинградской области немногим более 30-ти дней.

Повышение продуктивности растений различных видов горчиц также проявилось под влиянием всех исследуемых бактериальных штаммов (табл. 4). Максимальная прибавка сухой массы наблюдалась при использовании артробактерий: составила от 104,0 ц/га до 170,4 ц/га и флавобактерий: от 94,2 до 169,3 ц/га, у горчицы черной и горчицы белой соответственно.

Анализ отзывчивости однолетних полевых капустных культур на биопрепараты в условиях полевых опытов показывает, что наиболее интенсивное накопление сухого вещества наблюдалось нами у горчицы сарептской – на 66 % при использовании агро-

бактерий и 57,6% при инокуляции флавобактериями.

Это можно также объяснить разными погодными условиями в годы эксперимента. Так, в годы, которые характеризовались более сухой и жаркой погодой, с количеством осадков, относительно близким к средним многолетним, наблюдались активные ростовые процессы (высота, облиственность, число боковых побегов и др.).

Экономический эффект и эффективность при инокуляции семян капустных растений ассоциативными ризобактериями

Сравнение урожайности капустных растений по продуктивности не дает уверенно судить об эффективности применения препаратов при инокуляции семян капустных растений ассоциативными ризобактериями. Для этого необходимо определить экономический эффект и эффективность. История и подходы их определения были нами подробно рассмотрены в статьях [6, 7].

Для экономической оценки эффекта и эффективности использования при инокуляции семян капустных растений ассоциативных ризобактерий были рассчитаны показатели дохода и рентабельности, исходя из цены реализации сухой массы капустных растений 1 200 руб./т.

Таблица 4

Сухая масса капустных растений при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями (средние многолетние данные)

Варианты	Горчица белая	Горчица сарептская	Горчица черная	Горчица абиссинская
	ц/га / %	ц/га / %	ц/га / %	ц/га / %
Контроль	120,4 ± 3,8 / 100,0	100,7 ± 10,7 / 100,0	81,8 ± 1,4 / 100,0	107,0 ± 4,3 / 100,0
Агрофил	158,2 ± 2,3 / 131,4	142,4 ± 6,1 / 141,5	91,2 ± 3,0 / 111,5	122,7 ± 6,8 / 114,6
Бактосан	155,6 ± 1,1 / 129,1	132,7 ± 5,2 / 131,8	92,7 ± 1,7 / 113,3	122,3 ± 12,1 / 114,3
Мизорин	170,4 ± 13,4 / 141,5	167,1 ± 10,3 / 166,0	104,0 ± 3,0 / 127,1	152,3 ± 6,1 / 142,4
Флавобактерин	169,3 ± 3,8 / 140,6	158,7 ± 12,4 / 157,6	94,2 ± 13,8 / 115,2	152,0 ± 16,2 / 142,1
НСР ₀₅	10,1	11,4	9,4	12,1

Таблица 5

Основные экономические показатели по сухой массе капустных растений при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями, тыс. руб. с 1 гектара

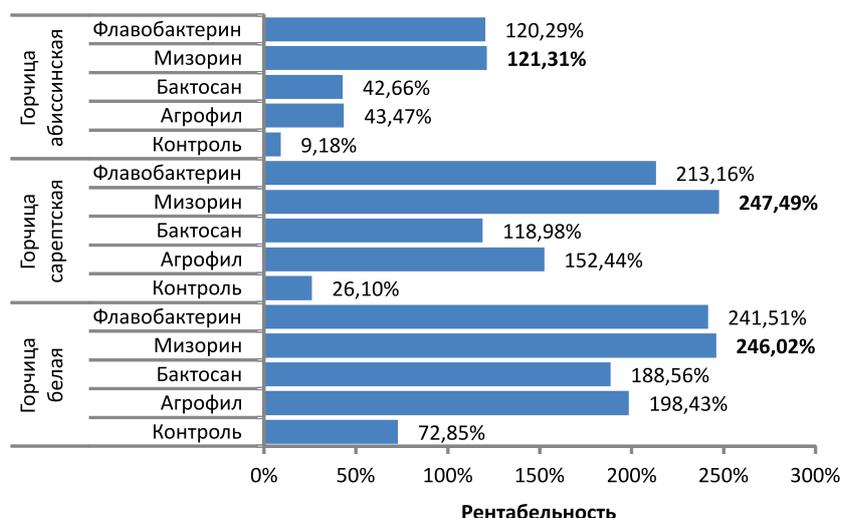
№ п/п	Показатель	Варианты				
		Контроль	Агрофил	Бактосан	Мизорин	Флавобактерин
1	Горчица белая					
1.1	Доход	14,45	18,98	18,67	20,45	20,32
1.2	Затраты	8,36	6,36	6,47	5,91	5,95
1.3	Прибыль (убыток)	6,09	12,62	12,2	14,54	14,37
2	Горчица сарептская					
2.1	Доход	12,08	17,09	15,92	20,05	19,04
2.2	Затраты	9,58	6,77	7,27	5,77	6,08
2.3	Прибыль (убыток)	2,50	10,32	8,65	14,28	12,96
3	Горчица черная					
3.1	Доход	9,82	10,94	11,12	12,48	11,3
3.2	Затраты	38,46	34,49	33,93	30,25	33,39
3.3	Прибыль (убыток)	(28,64)	(23,55)	(22,81)	(17,77)	(22,09)
4	Горчица абиссинская					
4.1	Доход	12,84	14,72	14,68	18,28	18,24
4.2	Затраты	11,76	10,26	10,29	8,26	8,28
4.3	Прибыль (убыток)	1,08	4,46	4,39	10,02	9,96

Применение биопрепаратов для инокуляции семян капустных растений ассоциативными ризобактериями сказывается на основных экономических показателях (доход, затраты, прибыль (убыток)) (табл. 5).

Анализ основных экономических показателей показывает, что все виды культур (кроме горчицы черной) являются прибыльными. Максимальная прибыль формируется при использовании биопрепарата мизорин: у горчицы белой – 14,54 тыс. руб. и у гор-

чицы сарептской – 14,28 тыс. руб. Следует отметить, что и горчица абиссинская, характерная для Эфиопии, юго-восточного Судана и Эритреи, также является прибыльной в условиях проведения полевых опытов. Далее из оценки экономической эффективности исключается горчица черная.

Одним из обобщающих показателей экономической эффективности является рентабельность (рисунок). По видам капустных растений рентабельность колеблется от 9,18 % до 247,49 %.



Рентабельность возделывания капустных растений при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями

Таблица 6

Обобщающий экономический эффект инокуляции семян капустных растений ассоциативными ризобактериями по рентабельности, в %*

Варианты	Горчица белая	Горчица сарептская	Горчица абиссинская
Агрофил	125,58	126,34	34,29
Бактосан	115,72	92,89	33,48
Мизорин	173,18	221,39	112,12
Флавобактерин	168,67	187,06	111,11

Примечание. *база сравнения – рентабельность по контролю соответствующего вида капустных растений.

Анализ рентабельности показывает, что в условиях проведения полевых опытов наибольшую экономическую эффективность по всем видам капустных растений (кроме горчицы черной) проявляет биопрепарат мизорин: горчица сарептская – 247,49%; горчица белая – 246,02%; горчица абиссинская – 121,31%.

Следует отметить, что экономический эффект может быть определен как разница между исходной и достигнутой «абсолютной» экономической эффективностью рассматриваемой социально-экономической системы при ее изменении или изменении условий ее функционирования [7]. Исходя из этого в табл. 6 нами был определен обобщающий показатель экономического эффекта инокуляции ассоциативными ризобактериями семян капустных растений (кроме горчицы черной) по рентабельности. База сравнения (исходная экономическая эффективность) – рентабельность по контролю соответствующего вида капустных растений.

Анализ обобщающего показателя экономического эффекта показывает, что инокуляция семян капустных растений позволяет достигнуть положительного экономического эффекта по всем видам капустных растений (кроме горчицы черной). Максимальный экономический эффект достигается при использовании мизорина при инокуляции семян горчицы сарептской – 221,39%.

Список литературы

1. Зайцев В.Я. Крестоцветные культуры – важнейший резерв увеличения кормов. – Л.: ЛСХИ, 1984. – 19 с.
2. Лебедев В.Н. Ассоциативные штаммы бактерий как современный элемент экологизации выращивания капустных растений // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. – СПб., 2014. – № 168. – С. 49–53.
3. Лебедев В.Н. Интенсивность побегообразования капустных растений при инокуляции семян бактериальными препаратами // Перспективы развития науки и образования. В 13 частях. Ч. 8. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 92–93.
4. Марковская Е.Ф., Сысоева М.И. Роль суточного температурного градиента в онтогенезе растений. – М.: Наука, 2004. – 119 с.
5. Полевой В.В., Саламатова Т.С. Физиология роста и развития растений. – Л.: ЛГУ, 1991. – 240 с.

6. Ураев Г.А. Эволюция термина экономическая эффективность / Перспективы развития науки и образования: в 13 частях Ч. 10. – Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. – С. 141–142.

7. Ураев Г.А. Оценка экономического эффекта // Приоритетные научные направления: от теории к практике / под общ. ред. А.И. Вострецова. – Нефтекамск: РИО ООО «Наука и образование», 2015. – С. 181–183.

8. Kerber A.J., Owen H.R., Coons J.M. Photoperiod impact on lateral shoot growth in *Stilisma pickerigii* // Trans. III. State Acad. Sci. – 2000. – P. 93.

9. Kim S.E., Okubo H. Control of growth habit in determinate lablab bean (*Lablab purpureus*) by temperature and photoperiod // Sci. Hort. – 1995. – Vol. 61. – P. 147–155.

10. Pearson S., Parker A., Handey P., Kitchener M. The effect of photoperiod and temperature on reproductive development of cape daisy (*Osteospermum jucundum* cv. Pink Whirls) // Sci. Hort. – 1995. – Vol. 62, Vol. 4. – P. 225–235.

References

1. Zajcev V.Ja. *Cruciferous plants – the most important reserve for increasing feed*. Leningrad, LSHI, 1984. 19 p.
2. Lebedev V.N. *Izvestija RGPU im. A.I. Gercena*, 2014, no 168, pp. 49–53.
3. Lebedev V.N. *Perspektivy razvitiya nauki i obrazovanija*. (Prospects for the development of science and education). Tambov, 2015, vol. 8, pp. 92–93.
4. Markovskaja E.F., Sysoeva M.I. *The role of the circadian temperature gradient in the ontogeny of plants*. Moscow, Nauka, 2004. 119 p.
5. Polevoj V.V., Salamatova T.S. *Physiology of plant growth and development*. Leningrad, LGU, 1991. 240 p.
6. Uraev G.A. *Perspektivy razvitiya nauki i obrazovanija*. (Prospects for the development of science and education). Tambov, 2015, Vol. 10, pp. 141–142.
7. Uraev G.A. *Prioritetnye nauchnye napravlenija: ot teorii k praktike*. (Priority research areas: from theory to practice). Neftekamsk, 2015. pp. 181–183.
8. Kerber A.J., Owen H.R., Coons J.M. *Trans. III. State Acad. Sci.*, 2000, p. 93.
9. Kim S.E., Okubo H. *Sci. Hort.*, 1995, Vol. 61. p. 147–155.
10. Pearson S., Parker A., Handey P., Kitchener M. *Sci. Hort.*, 1995, Vol. 62, Vol. 4. p. 225–235.

Рецензенты:

Воробейков Г.А., д.с.-х.н., профессор кафедры ботаники, Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург;

Голикова Ю.А., д.э.н., профессор кафедры «Экономика и менеджмент в строительстве», Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург.