

СТАТЬЯ

УДК 631.8:638.132.2:581.14

DOI 10.17513/use.38436

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕЛЕННОЙ МАССЫ
НЕКТАРОНОСНЫХ КУЛЬТУР ПРИ БАКТЕРИЗАЦИИ
СЕМЯН РИЗОБАКТЕРИЯМИ**¹Лебедев В.Н. ORCID ID 0000-0002-6552-4599,¹Кондрат С.В. ORCID ID 0000-0002-9628-7338,²Ураев Г.А. ORCID ID 0000-0002-2800-5108¹ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена», Россия, Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru;²ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Россия, Санкт-Петербург

Исследование проводилось при помощи полевых опытов и было посвящено выявлению эффективности влияния предпосевной бактеризации ассоциативными ростостимулирующими ризосферными микробами некоторых нектароносных культур при выращивании на зеленую массу. В работе использовались культуры, способные формировать высокую биомассу надземных органов в условиях Ленинградской области: бурачник лекарственный, или бораго (*Borago officinalis* L.), сорт Гном, и фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia* Berth.), сорт Рязанская. В качестве микробиологических препаратов были выбраны штаммы, рекомендованные для внесения под кормовые и сидеральные сельскохозяйственные виды: Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, шт. 10), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Флавобактерин (*Flavobacterium* sp., шт. 30) и Экстрасол (*Bacillus subtilis*, шт. Ч-13). Выявлено, что для обеих культур наибольшая эффективность в отношении полевой всхожести, высоты растений и продуктивности (размеров зеленой и сухой массы) отмечается в опытном варианте с использованием биопрепаратов Флавобактерина и Агрофила. При этом фацелия отличалась не только формированием более значительной фитомассы, но и более существенными прибавками как сырой (на 27%), так и сухой массы (на 41%) относительно контроля (без инокуляции). В то же самое время биохимический анализ сухой массы надземных органов показал, что содержание основных элементов минерального питания увеличивается при бактеризации семян бурачника Экстрасолом и Агрофилом, а у фацелии – в вариантах с применением Экстрасола и Мизорина. При этом концентрация общего азота (до 1,9–1,8%) и фосфора (до 2,64–1,56%) интенсивней накапливалась в надземных органах бурачника, а калия (до 3,9–3,2%) – у фацелии. Оценка экономического эффекта от реализации сырой зеленой и сухой массы надземных частей данных культур показала, что применение ассоциативных ростостимулирующих ризосферных бактерий, входящих в основу отобранных биопрепаратов, позволяет увеличить уровень эффективности аграрного предприятия.

Ключевые слова: бурачник лекарственный, фацелия пижмолистная, бактеризация, ростостимулирующие ризосферные бактерии, всхожесть, рост, продуктивность, элементы минерального питания, экономический эффект

**INCREASING THE PRODUCTIVITY OF GREEN
BIOMASS OF NECTARIFEROUS CROPS THROUGH
SEED BACTERIZATION WITH RHIZOBACTERIA**¹Lebedev V.N. ORCID ID 0000-0002-6552-4599,¹Kondrat S.V. ORCID ID 0000-0002-9628-7338,²Uraev G.A. ORCID ID 0000-0002-2800-5108¹Herzen State Pedagogical University of Russia, Russia, Saint Petersburg, e-mail: antares-80@yandex.ru;²Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Russia, Saint Petersburg

The study was conducted through field experiments and aimed to identify the effectiveness of pre-sowing inoculation with associative growth-stimulating rhizosphere microbes on some nectar-bearing crop plants during cultivation in terms of green mass production. The crops used were capable of producing high aboveground biomass under the conditions of the Leningrad Region: common borage (*Borago officinalis* L., 1753), cultivar Gnom, and tansy-leaved phacelia (*Phacelia tanacetifolia* Berth., 1834), cultivar Ryazanskaya. Microbiological preparations selected included strains recommended for application under forage and silage crops: Agrophil (*Agrobacterium radiobacter*, strain 10), Mizorin (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Flavobacterin (*Flavobacterium* sp., strain 30), and Extrasol (*Bacillus subtilis*, шт. CH-13). The highest effectiveness regarding field germination, plant height, and productivity (amounts of green and dry biomass) was observed in treatments using the biopreparations Flavobacterin and Agrophil. Phacelia not only formed significantly greater phytomass but also showed substantial increases in both fresh (by 27%) and dry mass (by 41%) compared to the control (without inoculation). Biochemical analysis of dry aboveground biomass revealed increased content of key mineral nutrients (NPK) after bacterization of borage seeds with Extrasol (*Bacillus subtilis*, strain Ch-13) and Agrophil, and in phacelia with Extrasol and Mizorin. Nitrogen (up to 1.9–1.8%) and phosphorus (up to 2.64–1.56%) concentrations accumulated more intensely in borage's aboveground parts, while potassium (up to 3.9–3.2%) increased more in phacelia. An analysis of the economic impact of selling the raw green and dry biomass of the above-ground parts of these crops has revealed that the use of associative growth-promoting rhizospheric bacteria, which are the basis of selected biological products, can increase the efficiency of agricultural enterprises.

Keywords: borage (starflower), tansy-leaved phacelia, bacterization, Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR), germination, growth, productivity, elements of mineral nutrition, economic effect

Введение

Проблема интенсификации различных сельскохозяйственных направлений требует поиска эффективных решений, способствующих максимальной реализации продуктивного потенциала культурных растений. При этом экологизация земледелия делает самыми приоритетными направления, способствующие снижению химической нагрузки на окружающую среду. Внедрение в агробиоценозы ассоциативных ростостимулирующих эндофитных бактерий при помощи предпосевной бактериализации (инокуляции) семян в последнее время стало одним из популярных векторов развития как мирового [1], так и отечественного [2] сельского хозяйства. Это связано с тем, что в качестве дополнительного преимущества данное агробиологическое направление способствует стимуляции резистентных свойств возделываемых объектов. Многочисленные исследования указывают [3; 4], что инокулированные ризосферными эндофитными микроорганизмами растения лучше переживают критический период при почвенной засухе, формируют более обогащенный элементами минерального питания урожай зеленой массы или семян, в меньшей степени способны накапливать тяжелые металлы и подвергаться фитогенным заболеваниям.

Однако предварительно прогнозировать влияние того или иного ризобактериального штамма на растительный организм не представляется возможным в силу его не только видовой, но и сортовой генетической специфики. По некоторым данным [5], немаловажную роль играют также и почвенно-климатические условия.

В качестве объектов исследований были отобраны такие культуры как бурачник лекарственный, или бораго (*Borago officinalis* L. сем. Бурачниковые – *Boraginaceae* Juss.), сорт Гном, и фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia* Berth., сем. Водолистниковые – *Hydrophyllaceae* R.Br.), сорт Рязанская. Выбор данных видов нектароносов основывался на их относительно высоком потенциале медопродуктивности [6] и урожае зеленой фитомассы [7] в условиях северо-западной зоны РФ, что делает их перспективными для использования на зеленый корм, в качестве источника сидератов и как медоносных культур.

Цель исследования – выявление эффективности влияния предпосевной бактериализации ассоциативными ростостимулирующими ризосферными микробами некоторых

нектароносных культур при выращивании на зеленую массу.

Материалы и методы исследования

Работа с растениями-нектароносами проводилась в условиях полевого опыта на супесчаной почве дерново-слабоподзолистого типа в Гатчинском районе Ленинградской области, на протяжении трех лет: 2022–2024 гг. в четырехкратной повторности, согласно стандартной методике постановки полевых опытов [8, с. 57, 64]. До проведения эксперимента данная площадь несколько лет находилась под уравнительным посевом смеси яровых злаков.

В качестве бактериальных препаратов были отобраны четыре, на основе ассоциативных ростостимулирующих ризосферных штаммов микробов, которые чаще всего рекомендуются для кормовых культур [9, с. 16]: Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Флавобактерин (*Flavobacterium* sp., штамм 30) и Экстрасол (*Bacillus subtilis*, штамм Ч-13).

Процесс инокуляции семенного материала проводился непосредственно перед посевом. В форме стандартной суспензии, рекомендованной для такого типа бактериализации, биопрепараты наносились на семена [10]. Семена контрольного опыта поливались водой того же объема. Полевая всхожесть фиксировалась на 10-й день после посева. Учет морфометрических и биохимических показателей, а также продуктивности осуществлялся в период укосной спелости растений – в фазу массового цветения. Основные элементы минерального питания (азот, фосфор и калий) определялись методом мокрого озоления сухой растительной массы с получением вытяжек, согласно агрохимическому анализу по методике К.Е. Гинзбург. Продуктивность растений оценивалась по накоплению сухой биомассы в надземных органах на момент проведения укоса. Результаты полевого опыта статистически обрабатывались дисперсионным методом анализа [11].

В проведенных авторами исследованиях на других культурах было показано и подробно рассмотрено, что использование ассоциативных ризобактериальных штаммов приводит к увеличению такого показателя, как экономический эффект [12]. В данной работе была проведена оценка экономического эффекта как абсолютного изменения дохода от реализации биомассы нектароносных культур опытных вариантов в сравне-

нии со значениями, которые были получены в контрольных вариантах полевого опыта.

Результаты исследования и их обсуждение

Особенности морфогенетических изменений в онтогенезе растительного организма происходят в результате целого комплекса ростовых процессов, что в итоге во многом определяет формирование его продуктивности. Эти явления обычно начинаются уже на ранних этапах органогенеза с момента прорастания семени. Поэтому полевая всхожесть является одним из важнейших параметров, по которому можно судить об эффективности взаимодействия ризобактерий и растения. Однако чем раньше возникает ассоциация «ризобактерия – растение», тем быстрее и интенсивнее происходит процесс стимуляции ростовых процессов.

Проведенный анализ результатов опытов выявил разную степень положительного влияния ризобактериальных штаммов на прорастание семян бурачника и фацелии

(табл. 1). Для обеих культур за 3 года исследований наиболее эффективными в отношении всхожести оказались ассоциативные бактерии в основе биопрепаратов Агрофил и Флавобактерин. В данных вариантах опыта у бурачника лекарственного этот показатель увеличился на одну треть (до 88%) относительно контроля (66%), а у фацелии пижмолистной – до 80–78%, что на 14–11% выше контрольных данных.

Растения данных вариантов в дальнейшем своем развитии также отличались более интенсивными ростовыми процессами. К периоду их массового цветения средняя высота данных культур наиболее заметно отличалась при использовании в опыте микробиологического препарата Флавобактерин. Высота бурачника на 12% была выше контроля (53,0 см), составляла 59,4 см, а у растений фацелии этот показатель достигал 96,6 см, что на 9% превышало результаты у растений, развившихся из семян, которые не были подвергнуты предпосевной обработке биопрепаратами (88,6 см).

Таблица 1

Влияние ризобактерий на всхожесть и высоту бурачника и фацелии (среднее за 2022–2024 гг.)

Вариант	Бурачник лекарственный				Фацелия пижмолистная			
	Всхожесть		Высота		Всхожесть		Высота	
	%	Δ%	см	%	%	Δ%	см	%
Контроль	66	100	53,0	100	70	100	88,6	100
Агрофил	88	133	57,8	109	78	111	95,9	108
Мизорин	74	112	56,6	107	75	107	91,6	103
Флавобактерин	88	133	59,4	112	80	114	96,6	109
Экстрасол	80	121	57,0	108	74	106	92,0	104
НСР ₀₅	7,1	–	3,9	–	5,0	–	3,2	–

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 2

Действие бактериальных препаратов на урожайность зеленой массы бурачника и фацелии (среднее за 2022–2024 гг.)

Вариант	Бурачник лекарственный				Фацелия пижмолистная			
	Сырая масса		Сухая масса		Сырая масса		Сухая масса	
	т/га	%	т/га	%	т/га	%	т/га	%
Контроль	7,6	100	5,30	100	20,96	100	5,96	100
Агрофил	9,8	129	5,78	109	23,44	126	7,86	132
Мизорин	9,0	118	5,70	108	24,67	118	7,40	124
Флавобактерин	9,8	129	5,94	112	26,62	127	8,39	141
Экстрасол	8,4	111	5,66	107	23,20	111	6,35	107
НСР ₀₅	5,2	–	3,5	–	8,8	–	3,7	–

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Комплекс изменений ростовых процессов, которые наблюдались у растений бурачника и фацелии после бактеризации их семян, нашел свое отражение в формировании продуктивности надземных органов в фазу их массового цветения.

Как показали исследования (табл. 2), наиболее эффективными в отношении урожайности зеленой массы обеих культур были ризосферные бактерии *Flavobacterium sp.* шт. 30 и *Bacillus subtilis*, шт. Ч-13. Так, у бурачника она возрастала на 29% – от 7,6 т/га (контроль) до 9,8 т/га, а у фацелии на 28–27% – от 20,96 т/га в контроле до 26,62 т/га (Флавобактерин) и 26,44 т/га (Экстрасол). При этом все опытные варианты, кроме этих двух, достоверно отличались не только от контроля, но и друг от друга.

Аналогичная закономерность также была отмечена и при анализе воздушно-сухой биомассы надземных органов, на основании которой оценивалось накопление сухого вещества в надземных органах нектароносных растений. Именно данный показатель является важнейшим структурным элементом продуктивности при выращивании культуры на корм или сидерат.

По результатам анализа наибольший эффект накопления сухого вещества отмечался в опытном варианте, где использовался бактериальный препарат Флавобактерин – 5,94 т/га (бурачник лекарственный) и 8,39 т/га (фа-

целия пижмолистная), относительно массы растений контрольных вариантов (без бактеризации) – 5,30 и 5,96 т/га соответственно.

Следует отметить, что опытные варианты бурачника по сухой массе достоверно отличались от контроля, но не между собой. Поэтому относительно контроля размеры прибавок после проведения бактеризации семян не такие значительные (7–12%), как при ранее проведенном анализе сырой массы данной культуры. Кроме того [13], у фацелии пижмолистной, которая известна своей способностью формировать высокие урожаи биомассы в северо-западном регионе РФ, авторами было выявлено более интенсивное увеличение сухой массы у опытных растений, что в среднем на 7–32% превышало контрольные показатели. Установленные авторами различия между всеми вариантами полевого опыта для данного нектароносного растения являются достоверными.

Как было показано ранее в ряде исследований [14;15], ростостимулирующие ассоциативные бактерии, после внесения их на семена или корневую систему, способны активизировать целый ряд метаболических процессов, приводя к улучшению минерального питания растений. В результате у аграрных культур повышается вынос ценных химических элементов из почвы с урожаем семян или надземной массы, что улучшает качество такой продукции.

Таблица 3

Содержание основных минеральных элементов в сухой массе растений (среднее за 2022–2024 гг.)

Вариант	N		P		K	
	%	Δ%	%	Δ%	%	Δ%
Бурачник лекарственный						
Контроль	0,3	100	0,74	100	1,6	100
Агрофил	1,8	600	2,64	357	2,5	156
Мизорин	1,6	533	1,28	173	1,9	119
Флавобактерин	0,6	200	1,11	150	2,3	144
Экстрасол	1,9	633	1,56	211	2,6	163
НСР ₀₅	0,2	–	0,33	–	0,3	–
Фацелия пижмолистная						
Контроль	0,3	100	1,32	100	1,4	100
Агрофил	1,7	567	2,00	909	2,6	186
Мизорин	1,8	600	2,23	169	3,2	448
Флавобактерин	0,5	167	1,69	128	2,0	143
Экстрасол	1,8	600	2,63	199	3,9	278
НСР ₀₅	0,3	–	0,35	–	0,8	–

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 4

Доход от реализации сухой массы растений с 1 га

Вариант	Бурачник лекарственный		Фацелия пижмолистная	
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
Контроль	530	100,0	476,8	100,0
Агрофил	578	109,1	628,8	131,8
Мизорин	570	107,5	592,0	124,2
Флавобактерин	594	112,1	671,2	140,7
Экстрасол	566	106,8	508,0	106,5

Источник: составлено авторами на основе полученных данных в ходе исследования.

Биохимический анализ сухой массы в фазу массового цветения исследованных растений выявил некоторое увеличение общего содержания азота, фосфора и калия (NPK) (табл. 3). У бурачника лекарственного наиболее высокая концентрация фосфора в опытном варианте с применением Агрофила (2,64%), а азота – при использовании Экстрасола (1,9%) и Агрофила (1,8%). При этом существенное увеличение концентрации калия отмечалось в тех же вариантах с Экстрасолом (2,6%), Агрофилом (2,5%), так и при бактеризации семян Флавобактерином (2,3%). Растения бурачника в контрольных вариантах полевого опыта заметно отличались более низкими показателями данных элементов минерального питания: 0,74% (фосфор), 0,3% (азот) и 1,6% (калий).

Содержание данных элементов минерального питания в сухой надземной массе опытных вариантов фацелии пижмолистной также достоверно отличалось от контроля: 0,3% (азот), 1,32% (фосфор) и 1,4% (калий). В отношении азота максимальные прибавки (до 1,8%) авторами были отмечены у растений, чьи семена непосредственно перед посевом были инокулированы ризобактериальными препаратами Мизорин и Экстрасол. Аналогичная эффективность у данных препаратов прослеживалась по калию – 3,2 и 3,9% соответственно. Наиболее интенсивное накопление фосфора по приросту в сухом веществе надземных органов фацелии также были отмечены при обработке данными биопрепаратами – 2,63% (Экстрасол) и 2,23% (Мизорин).

Следует отметить отсутствие заметного повышения накопления NPK к фазе активного цветения в растениях у обеих культур, после их семенной инокуляции флавобактериями (*Flavobacterium sp.* шт. 30), то есть в тех вариантах, где наблюдались наиболее

интенсивный рост и максимальные значения продуктивности сухой массы. Подобная особенность накопления минеральных элементов растениями может объясняться так называемым «эффектом разбавления». Во многих исследованиях отмечается [16, с. 72; 17 с. 83, 88], что при более интенсивном формировании зеленой массы, урожая семян и даже высокой динамике линейного роста растительных организмов, вынос из почвы NPK замедляется.

Все морфологические и продуктивные изменения, которые раньше происходили в опытных вариантах с культурами бурачника лекарственного и фацелии пижмолистной, где семенной материал перед посевом был подвергнут бактеризации ризосферными штаммами бактерий, также повлияли на уровень экономического эффекта от процесса реализации сухой массы растений (табл. 4).

Доход аграрного предприятия от реализации биомассы бурачника лекарственного и фацелии пижмолистной при применении бактериальных препаратов значительно возрастает по сравнению с контролем. По оценкам авторов, среднее увеличение дохода по бурачнику при использовании препаратов достигает от 6,8% (Экстрасол) до 12,1% (Флавобактерин), при этом максимальный рост выручки составляет 594 тыс. руб./га против 530 тыс. руб./га в контроле. Аналогичная положительная динамика наблюдается и по фацелии – выручка увеличивается в диапазоне от 6,5% (Экстрасол) до 40,7% (Флавобактерин), достигая максимума в 671,2 тыс. руб./га по сравнению с 476,8 тыс. руб./га в контроле. Таким образом, применение бактериальных препаратов, а особенно Флавобактерина, обеспечивает значительный экономический эффект и способствует повышению доходности производства данных культур.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований удалось установить положительный эффект от бактеризации семян таких нектароносных растений, как бурачник лекарственный (бораго) (*Borago officinalis* L., 1753) и фацелия пижмолистная (*Phacelia tanacetifolia* Berth., 1834) при их выращивании на зеленую массу. В полевом опыте использовались четыре ассоциативных штамма ростостимулирующих ризосферных бактерий, которые представляют основу соответствующих биопрепаратов.

Наиболее эффективными из них оказались *Flavobacterium* sp. шт. 30 и *Agrobacterium radiobacter*, шт. 10. Растения, развившиеся из семян, бактеризированных данными штаммами, отличались от контроля более высокими показателями полевой всхожести (на 11–33%), ростовых процессов (на 8–12%), что в дальнейшем отразилось на количественных характеристиках их продуктивности. Так, зеленая масса бурачника в обоих опытных вариантах увеличивалась до 9,8 т/га, по сравнению с контролем (7,6 т/га), а у фацелии – до 26,62–23,44 т/га, что на 27–26% превышало контрольные данные (20,96 т/га). При этом сухая масса надземных органов у бурачника, по отношению к контролю (5,30 т/га), была на 12% выше при использовании флавобактерий (5,94 т/га) и на 9% – бацилл (5,78 т/га). В опыте с фацелией сухая масса растений значительно превышала контрольный вариант без бактеризации (5,96 т/га) на 41% (Флавобактерин) и на 32% (Агрофил), что составляло 8,39 и 7,86 т/га соответственно.

Анализ сухой массы растений на содержание валовых форм основных элементов минерального питания, проведенный в период массового цветения растений, выявил, что для бурачника лекарственного наиболее эффективной является предпосевная обработка семян Экстрасолом и Агрофилом, а для фацелии пижмолистной – Экстрасолом и Мизорином. При этом концентрация общего азота (до 1,9–1,8%) и фосфора (до 2,64–1,56%) интенсивней накапливалась в надземных органах бурачника, а калия (до 3,9–3,2%) – у фацелии.

Оценка экономического эффекта от реализации массы надземных частей данных культур показала, что применение ассоциативных ростостимулирующих ризосферных бактерий, входящих в основу отобранных биопрепаратов, позволяет увеличить уровень дохода аграрного предприятия.

Список литературы

1. Basu A., Prasad P., Das S.N., Kalam S., Sayyed R.Z., Reddy M.S., Enshasy H.E. Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects // Sustainability. 2021. Vol. 13, Is. 3. P. 1–20. DOI: 10.3390/su13031140.
2. Завалин А.А., Алферов А.А., Чернова Л.С. Ассоциативная азотфиксация и практика применения биопрепаратов в посевах сельскохозяйственных культур // Агрохимия. 2019. № 8. С. 83–96. DOI: 10.1134/S0002188119080143.
3. Тихонович И.А., Завалин А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. 2016. № 5. С. 28–32.
4. Максимов И.В., Веселова С.В., Нужная Т.В., Сарварова Е.Р., Хайруллин Р.М. Стимулирующие рост растений бактерии в регуляции устойчивости растений к стрессовым факторам // Физиология растений. 2015. Т. 62. № 6. С. 763–775. DOI: 10.7868/S0015330315060111.
5. Ha-Tran D.M., Nguyen T.T.M., Hung S.H., Huang C.C., Huang E. Roles of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22, Is. 6. P. 1–38. DOI: 10.3390/ijms22063154.
6. Тужилина С.В., Савин А.П. Виды фацелии и их роль в кормовой базе пчеловодства // Пчеловодство. 2022. № 2. С. 19–21. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48066663> (дата обращения: 10.08.2025). EDN: ZJZRCR.
7. Филонов М., Огуречная трава (Бораго) // Пчеловодство. 2022. № 4. С. 56–57. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48369131> (дата обращения: 24.08.2025). EDN: MX-QNAS.
8. Царенко В.П., Воробейков Г.А., Ефремова М.А. Полевые и вегетационные исследования по агрохимии и фитофизиологии. СПб.: Лань, 2023. 192 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/367283> (дата обращения: 26.06.2025). ISBN 978-5-507-48170-5.
9. Лебедев В.Н. Минеральное питание, рост и продуктивность горчицы белой (*Sinapis alba* L.) при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями: дис. ... канд. сельхоз. наук. Санкт-Петербург – Пушкин, 2008. 218 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://viewer.rsl.ru/ru/rsl01004170677> (дата обращения: 26.06.2025). EDN: NQNKIP.
10. Ибатуллина Р.П., Алимова Ф.К., Кожемяков А.П., Крошечкина И.Ю., Менликиев Ф.М. Рекомендации по применению биологических препаратов ООО «НПИ «Биопрепараты» в растениеводстве, кормопроизводстве и животноводстве. Казань: ООО «Центр инновационных технологий», 2017. 136 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35323376_24733712.pdf (дата обращения: 26.06.2025). ISBN 978-5-93962-856-3.
11. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Статистический анализ в биологии с использованием Excel. Ч. 1. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2017. 51 с. ISBN 978-5-8064-1478-7.
12. Ураев Г.А., Лебедев В.Н. Способы оценивания рисков аграрных предприятий // Управление рисками в экономике: проблемы и решения: труды III научно-практической конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 27–28 ноября 2017 г.). СПб.: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2017. С. 266–273. [Электронный ресурс]. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32693592> (дата обращения: 13.10.2025). EDN: YTXDSP.
13. Панин Е.В., Высоцкая Е.А. Биопродуктивность фацелии в различные фазы вегетации // Экологический вестник Северного Кавказа. 2025. Т. 21. № 1. С. 53–60. URL: <http://ecokavkaz.ru/media/docs/2025/21-1-8.pdf> (дата обращения: 26.06.2025). EDN: OWRTL.R.

14. Чеботарь В.К., Щербаков А.В., Щербакова Е.Н., Масленникова С.Н., Заплаткин А.Н., Мальфанова Н.В. Эндوفитные бактерии как перспективный биотехнологический ресурс и их разнообразие // Сельскохозяйственная биология. 2015. Т. 50. № 5. С. 648–654. DOI: 10.15389/agrobiology.2015.5.648rus.
15. Воробейков Г.А., Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Сравнительная оценка влияния биопрепаратов и минеральных удобрений на рост и продуктивность горчицы сарептской (*Brassica juncea* Czern.) // Пермский аграрный вестник. 2022. № 1 (37). С. 14–21. DOI: 10.47737/2307-2873_2022_37_14.
16. Завалин А.А., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Азот в агроecosистеме на черноземных почвах. М.: Российская академия наук, 2018. 180 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://new.ras.ru/upload/iblock/3ac/3spp72vtcbwcel-r456i9779td3axbu9.pdf> (дата обращения: 26.06.2025). ISBN 978-5-906906-79-3.
17. Самсонова Н.Е. Основы минерального питания растений и технологий применения удобрений. Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2021. 256 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://e.lanbook.com/book/222806> (дата обращения: 26.06.2025).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.