



ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ БИОПРЕПАРАТОВ НА РАСТЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВЫ

¹Лебедев В. Н. ORCID ID 0000-0002-6552-4599,

¹Кондрат С. В. ORCID ID 0000-0002-9628-7338,

²Ураев Г. А. ORCID ID 0000-0002-2800-5108

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

В статье рассматриваются результаты вегетационного опыта по оценке влияния биопрепаратов на основе ассоциативных эндофитных ризобактерий в условиях разной степени засоленности почвы (1% NaCl, 2% NaCl и 3% NaCl). Опыты проводились на базе АБС «Вырица» в вегетационном домике при естественном освещении и искусственном поливе. Объектом исследования служила горчица сарептская (**Brassica juncea** (L.) Czern) сорта Люкс (к-2643). В качестве стимулирующих рост микроорганизмов использовали неспорообразующую и спорообразующую формы: **Arthrobacter mysorens**, штамм 7 (Мизорин), и **Bacillus subtilis**, штамм 26Д (Фитоспорин-М), соответственно. Анализ проводился на основании изменений всхожести, высоты, численности листьев, боковых побегов и продуктивности сухой массы надземных частей растений. Показано, что инокуляция семян в нормальных почвенных условиях стимулировала все рассмотренные морфобиологические параметры, засоление почвы хлоридом натрия привело к их резкому угнетению, которое нарастало с увеличением натриево-хлоридного фона. Под влиянием натриево-хлоридного засоления накопление сухой массы надземных органов растений снижалось практически вдвое: на 46% при 1% NaCl, на 49% при 2% NaCl и на 54% при 3% NaCl относительно абсолютного контроля. Применение Мизорина и Фитоспорина-М в условиях разной степени засоления (1–3% NaCl) способствовало некоторому снижению угнетения изученных авторами морфобиологических показателей горчицы. В среднем солеустойчивость растений повышалась на 15% (1% NaCl), на 16% (2% NaCl) и на 18% (3% NaCl) по отношению к опытным вариантам, с засолением без инокуляции семян ризобактериальными штаммами. При этом оба препарата по эффективности существенно не отличались. Проведённая оценка экономического эффекта показывает, что экономический эффект может быть достигнут за счет следующих факторов: повышение всхожести и сохранности растений в условиях солевого стресса; интенсификация ростовых процессов, увеличение накопления биомассы вегетативных органов и стабилизация физиологического статуса растений при осмотическом стрессе.

Ключевые слова: горчица сарептская, вегетационный опыт, засоление, солевой стресс, ассоциативные эндофитные ризобактерии, PGPR-бактерии, инокуляция, ростовые процессы, хлорид натрия, продуктивность, солеустойчивость, экономический эффект

FEATURES OF THE EFFECT OF BIOLOGICAL PRODUCTS ON PLANTS IN CONDITIONS OF SOIL SALINIZATION

¹Lebedev V. N. ORCID ID 0000-0002-6552-4599,

¹Kondrat S. V. ORCID ID 0000-0002-9628-7338,

²Uraev G. A. ORCID ID 0000-0002-2800-5108

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education
“Herzen Russian State Pedagogical University”, Saint Petersburg, Russian Federation;
² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Emperor Alexander I St. Petersburg
State Transport University”, Saint Petersburg, Russian Federation, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

This study evaluates the effect of biopreparations based on associative endophytic rhizobacteria under varying soil salinity levels (1%, 2%, and 3% NaCl). Pot experiments were conducted at the Vyritsa Agricultural Biological Station in a mesh pot house under natural lighting and controlled irrigation. Indian mustard (**Brassica juncea** (L.) Czern., cv. Lux) served as the study object. Non-spore-forming **Arthrobacter mysorens** (strain 7, Mizorin) and spore-forming **Bacillus subtilis** (strain 26D, Fitosporin-M) were applied for seed inoculation. Under normal soil conditions, seed inoculation stimulated all studied morphophysiological parameters. Conversely, sodium chloride salinization induced severe, dose-dependent growth suppression. In non-inoculated saline treatments, aboveground dry matter accumulated nearly twofold less, decreasing by 46% (1% NaCl), 49% (2% NaCl), and 54% (3% NaCl). Seed inoculation with both Mizorin and Fitosporin-M partially alleviated this salt-induced inhibition. On average, bacterial inoculation enhanced plant salt tolerance by 15% (1% NaCl), 16% (2% NaCl), and 18% (3% NaCl) compared to non-inoculated saline controls, with no significant differences in efficacy between the two strains. Economic analysis confirms that seed inoculation under salinity stress ensures the accumulation of an additional 1.1–1.3 t/ha of aboveground dry matter, generating an increased revenue of 11,000–13,000 RUR/ha. Accounting for inoculation costs, the net additional income reaches 10,500–12,500 RUR/ha, with an agronomic profitability of 17.1–20.3%, rendering this biotechnological practice highly cost-effective for saline soil management.

Keywords: Indian mustard (**Brassica juncea** L.), pot experiment, salinization, sodium chloride, salt stress, associative endophytic rhizobacteria, PGPR, inoculation, productivity, salt tolerance, economic effect

Введение

Одним из наиболее серьёзных абиотических стрессов, наряду с засухой, является засоление, ингибирующее физиологические процессы и приводящее к снижению роста и продуктивности растений. На долю сельскохозяйственных почв, подверженных в той или иной степени засолению, по данным FAO (Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН), относится 11%, а в РФ – 1,8% площади [1, р. 46]. Расширение площадей засоленных почв в неаридных районах происходит по техногенным причинам, таким как применение антигололедных реагентов, складирование отходов промышленных производств и других факторов. Засоление хлоридом натрия сопровождается избыточным содержанием в почве ионов натрия и хлора, что приводит к осмотическому стрессу, затруднению поступления других элементов минерального питания, таких как калий и кальций. Снижение продуктивности растений в результате такого нарушения метаболических процессов может достигать 60-80% [2].

Современный экологический подход к земледелию приводит к поиску новых путей решения данной проблемы. Поэтому в последние годы [3] наравне с селекционным созданием солеустойчивых сортов активное распространение получило применение бактериальных препаратов на основе эндофитных микроорганизмов из числа бактерий, стимулирующих рост и развитие растений (PGPR). Данные микроорганизмы также способны выступать в качестве протекторов при воздействии негативных факторов, способствуя в некоторой степени нивелированию последствий стрессового воздействия у культурных растений за счет сохранения и восстановления их физиологических процессов.

Многочисленные исследования показали влияние эндофитных бактерий на повышение толерантности аграрных культур к стрессам абиотического и биотического происхождения: к почвенной засухе, тяжёлым металлам, кратковременным заморозкам, солевому стрессу, фитопатогенам и сельскохозяйственным вредителям [4]. При этом установлено, что PGPR-бактерии способны оказывать ярко выраженное протекторное действие при натриево-хлоридном засолении почвы [5]. Отдельные ассоциативные штаммы нивелировали данный стресс-фактор, стимулируя рост и развитие растений даже при 2% NaCl [6].

Целью данного исследования был анализ эффективности влияния инокуляции семян на рост и продуктивность растений при различной степени почвенного засоления.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служила горчица сарептская (**Brassica juncea** (L.) Czern) широко районированного сорта Люкс (к-2643). Это относительно галорезистентная ценная кормовая культура. В высоких широтах северного полушария она способна к интенсивному формированию фитомассы. Кроме того [7], выявлено, что ее галорезистентность не утрачивается даже в условиях интенсивного засоления почвы хлоридом натрия (более 1–2%). В последние годы горчица сарептская вместе с другими однолетними капустными растениями получила относительно широкое распространение на зеленую массу в скандинавских странах и Беларуси. Однако в северных и северо-западных регионах нашей страны она все еще остается мало распространенной культурой [8, с. 114].

Исследование выполнялось на протяжении трех лет (2022–2024 гг.) в условиях Ленинградской области на базе АБС «Вырица». Опыты были заложены в вегетационных пластиковых сосудах с дерново-подзолистой слабокислой почвой массой 5 кг в соответствии с общепринятой методикой [9, с. 62]. Как показал лабораторный анализ агрохимических свойств образцов почвы, использованной в вегетационном опыте, она в средней степени обеспечена легкогидролизуемыми формами фосфора и калия. Почва характеризовалась фоновым содержанием растворимых хлоридов, равным 1,5 мг/кг. Сосуды размещались в сетчатом вегетационном домике с естественным освещением и почвенной влажностью 70% от валовой влагоёмкости, которая поддерживалась регулярным поливом. В почву вносилась азотфоска – комплексное минеральное удобрение, исходя из нормы $N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}$ в пересчёте на действующие вещества на 1 кг почвы. Солевые фоны моделировали внесением NaCl из расчёта 1%, 2% и 3% на 1 кг почвы. В каждый сосуд высевалось по 20 семян, а в фазу всходов их количество выравнивалось – в каждом сосуде оставлялось строго по 10 однородных растений. Повторность каждого варианта опыта – четырёхкратная.

Для инокуляции было отобрано два штамма ассоциативных ризобактерий: непорообразующий **Arthrobacter mysoresis**, штамм 7 (Мизорин) и спорообразующий **Bacillus subtilis**, штамм 26Д (Фитоспорин-М). Обработка семян проводилась бак-

териальными препаратами непосредственно в процессе посева, путем нанесения бактериальной суспензии со стандартными титрами клеток: 1×10^9 КОЕ/мл для **Arthrobacter mysores** (Мизорин) и 1×10^8 КОЕ/мл для **Bacillus subtilis** (Фитоспорин-М), которые рекомендованы разработчиками данных биопрепаратов (лабораторией экологии симбиотических и ассоциативных азотфиксирующих микроорганизмов ФГБОУ «ВНИИСХМ») для инокуляции семян данного размера [10, с. 24]. В контроле семена поливались водой в объеме, равном количеству бактериальной суспензии с ассоциативным ризобактериальным штаммом.

Всхожесть в сосудах анализировалась на 10-й день после посева. Ростовые процессы (высота, число листьев, боковых побегов) и продуктивность сухой надземной массы растений – в фазу массового цветения. Статистическую обработку экспериментальных данных проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа [11, с. 18]. Оценку значимости эффектов и их взаимодействий осуществляли по (F)-критерию Фишера при уровне значимости ($p \leq 0,05$). Ввиду отсутствия статистически значимых межгодовых различий в полученных результатах за 2022–2024 гг., в работе представлены усредненные данные за три года.

В исследованиях на других культурах авторами уже было показано и подробно рас-

смотрено, что использование ассоциативных ризобактериальных штаммов приводит к увеличению экономического эффекта [12]. В данной работе была проведена оценка экономического эффекта, обусловленного предотвращением потерь урожая при инокуляции семян в условиях засоления.

Результаты исследования и их обсуждение

Ростовые реакции растений являются одними из основных индикаторов адаптаций к неблагоприятным условиям внешней среды. Всхожесть обычно отражает физиологическое состояние растительного организма на самом раннем этапе органогенеза, что в дальнейшем отражается на формировании остальных морфологических структур и дальнейших обменных процессов.

Следует отметить, что при выборе объекта изучения в ходе проведения предварительного лабораторного скрининга семенного материала горчицы сорта Люкс удалось установить его высокую всхожесть, которая сохранилась и при посеве семян в почву. Показано, что при выращивании растений на почве без внесения соли, но с обработкой семян Мизорином и Фитоспорином-М всхожесть семян составляла 100%, что не превышало данные по контролю, где наблюдался аналогичный результат (табл. 1).

Таблица 1

Влияние ризобактерий на всхожесть и ростовые процессы горчицы сарептской на фоне засоления почвы (в среднем за 2022–2024 гг.)

Вариант	Всхожесть		Высота		Количество листьев		Количество боковых побегов	
	%	$\Delta\%$	см	%	шт.	%	шт.	%
Контроль	100	–	61,7	100	6,3	100	5,0	100
Мизорин	100	–	68,7	111	8,3	132	6,0	120
Фитоспорин-М	100	–	69,0	112	8,0	127	7,0	140
1% NaCl	70	-30	53,5	87	5,4	86	4,0	80
2% NaCl	65	-35	50,3	82	5,0	79	3,0	60
3% NaCl	43	-57	48,0	78	4,0	64	3,0	60
1% NaCl + Мизорин	88	-12	59,0	96	5,7	90	5,0	100
2% NaCl + Мизорин	85	-15	58,0	94	5,6	89	4,0	80
3% NaCl + Мизорин	53	-47	56,0	91	5,6	89	4,0	80
1% NaCl + Фитоспорин-М	74	-26	59,3	96	5,8	92	5,0	100
2% NaCl + Фитоспорин-М	72	-28	57,0	92	5,7	90	4,0	80
3% NaCl + Фитоспорин-М	50	-50	55,3	90	5,0	79	4,0	80
HCP ₀₅	9,1	–	3,5	–	0,4	–	0,8	–

Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

Одновременно с этим внесение в почву хлорида натрия от 1% до 3% приводило к резкому снижению всхожести относительно контроля в вегетационных сосудах на 30% (1% NaCl), 35% (2% NaCl) и 57% (3% NaCl) соответственно.

В проведенных опытах протекторный эффект эндофитных бактерий проявился уже в период прорастания семян на всех засоленных почвах. Всхожесть горчицы сарептской при инокуляции семян Мизорином снижалась менее интенсивно – на 12% (1% NaCl), 15% (2% NaCl) и 47% (3% NaCl). При этом использование Фитоспорина-М, на данном фоне возрастания засоления, было менее эффективным, и всхожесть снижалась до 74–50%, что всё равно было выше, чем в условиях соответствующих доз хлорида натрия и отсутствии инокуляции (70–43%).

Изменение параметров линейного роста относительно контроля отмечалось во всех вариантах опыта. Так, если инокуляция Мизорином и Фитоспорином-М стимулировала рост растений на 11% и 12%, соответственно, то натриево-хлоридное засоление ингибировало высоту растений с возрастанием концентрации соли на 13–22%. Предпосевная бактериализация семян Мизорином на фоне возрастающего солевого стресса, способствовала постепенному снижению этого показателя только на 4–9%, а Фитоспорином-М на 4–10%.

Применение биопрепаратов на основе ассоциативных эндофитных бактерий, которое сопровождалось увеличением высоты, приводило к некоторому увеличению среднего числа листовых узлов и сохранению нижних листьев на 32% (Мизорин) и 27% (Фитоспорин-М) – до 8,3 и 8,0 шт. по сравнению с контролем (6,3 шт.). В опытных вариантах с солевым стрессом количество листьев снижалось достаточно резко с возрастанием хлорида натрия на 14–36% (5,4–4,0 шт.). Использование ризобактериальных штаммов в данных условиях засоления способствовало сокращению разницы к контролю (без засоления и биопрепаратов) на 10–11% (1–3% NaCl + Мизорин) и 8–21% (1–3% NaCl + Фитоспорин-М). Разница в изменении числа листьев при использовании биопрепаратов достоверно отличалась от контроля, хотя между самими опытными вариантами эти отличия нельзя считать статистически достоверными.

Обработка семян эндофитными PGPR-бактериями стимулировала не только рост в высоту, но и повлияла на образова-

ние боковых побегов на 40% (7,0 шт.) и 20% (6,0 шт.), по отношению к контрольному варианту без инокуляции и засоления (5,0 шт.). При засолении 1% NaCl это значение достоверно снижалось на один побег, а при 2–3% NaCl – на два побега. В вариантах с применением Мизорина, как и Фитоспорина-М, на фоне 1% NaCl этот показатель достигал уровня контрольного варианта, а в условиях 2–3% число боковых побегов соответствовало дозе внесения 1% NaCl при отсутствии семенной инокуляции – 4,0 шт.

Эндофитные ризобактерии способны влиять не только на рост вегетативных органов, но и оказывать регулирующее действие на развитие растительного организма [13], что обычно сопровождается увеличением числа листьев как ведущих ассимиляционных органов [14]. В результате это способствует более интенсивному накоплению сухого вещества в вегетативной массе таких растений по сравнению с контролем, где при отсутствии использования PGPR-бактерий наблюдается значительное снижение продуктивности надземных органов [15].

Как показали результаты исследований (табл. 2), продуктивность сухой массы надземных органов горчицы в условиях сильного натриево-хлоридного засоления снижалась почти вдвое (на 46–54%) относительно контрольных значений (10,3 г/сосуд) и составляла 5,6 г/сосуд (1% NaCl), 5,0 г/сосуд (2% NaCl), 4,7 г/сосуд (3% NaCl). По продуктивности растения, семена которых в процессе посева обрабатывались Мизорином, а затем росли на засоленной почве, накапливали на 23–32% меньше сухого вещества, чем при нормальном солевом фоне. В аналогичных условиях предпосевная инокуляция Фитоспорином-М также замедляла ингибирующий эффект от присутствия хлорида натрия в почве, и солеустойчивость растений повышалась на 20–29%. При этом достоверные отличия между действиями эндофитных бактерий **A. mysorens**, шт. 7 и **B. subtilis**, шт. 26Д на засоленных почвах не отмечались. При инокуляции на почвах без избытка ионов натрия и хлора продуктивность была достоверно выше контроля на 7% (11,0 г/сосуд) и 4% (10,7 г/сосуд).

В некоторых исследованиях [16; 17], посвященных выявлению протекторного действия PGPR-бактерий при выращивании сельскохозяйственных культур на почвах с избыточным содержанием хлорида натрия, указывают на высокую эффективность применения эндофитных бактерий **B. subtilis**, шт. 26Д в основе Фитоспорина-М.

Таблица 2

Продуктивность растений и оценка экономической эффективности инокуляции семян горчицы сарептской на засоленных почвах

Вариант	Продуктивность сухой массы		Затраты, руб./га	Дополнительная выручка*, руб./га	Чистый доход**, руб./га	Рентабельность***, %
	г/сосуд	кг/га				
Контроль	10,3	2 060	61 030	—	—	—
Мизорин	11,0	2 200	61 100	—	—	—
Фитоспорин-М	10,7	2 140	61 070	—	—	—
1% NaCl	5,6	1 120	60 560	—	—	—
1% NaCl + Мизорин	7,9	1 580	61 290	7 820	7 090	11,6
1% NaCl + Фитоспорин-М	8,2	1 640	61 320	8 840	8 080	13,2
2% NaCl	5,0	1 000	60 500	—	—	—
2% NaCl + Мизорин	7,7	1 540	61 270	9 180	8 410	13,7
2% NaCl + Фитоспорин-М	7,7	1 540	61 270	9 180	8 410	13,7
3% NaCl	4,7	940	60 470	—	—	—
3% NaCl + Мизорин	7,0	1 400	61 200	7 820	7 090	11,6
3% NaCl + Фитоспорин-М	7,3	1 460	61 230	8 840	8 080	13,2

Примечание: * за счет прибавки урожая сухой надземной массы горчицы в условиях солевого стресса; ** за вычетом затрат на инокуляцию; *** рассчитана только для условий солевого стресса как отношение чистого дохода к затратам (затраты по традиционной технологии с учётом издержек на инокуляцию). Примечание: составлено авторами по результатам данного исследования.

Однако следует отметить, что в проведенных опытах оба биопрепарата оказались эффективными в условиях сильного засоления. Достоверной разницы между результатами применения Мизорина и Фитоспорина-М при выращивании растений на фоне 1–3% NaCl не было выявлено. При этом отмечалось только незначительное превышение Фитоспорина-М в сравнении с Мизорином по таким показателям, как линейный рост и продуктивность сухой биомассы. В результате солеустойчивость к натриево-хлоридному засолению при использовании данных препаратов повышалась на 15% (1% NaCl), на 16% (2% NaCl) и на 18% (3% NaCl). Полученные сведения подлежат дальнейшему изучению.

Для оценки экономической эффективности инокуляции затраты разделены на условно-постоянные (60 000 руб./га) и переменные (500 руб./т сухой массы). Цена реализации сухой массы горчицы принята на уровне 17 000 руб./т, что соответствует среднерыночной стоимости высокобелковых кормовых культур. Пересчет с сосуда на гектар выполнен по коэффициенту 200 кг/га на 1 г/сосуд. Инокуляция в условиях засоления (1–3% NaCl) обеспечила прирост урожайности на 0,46–0,54 т/га. Дополнительная выручка от реализации прибавки составила 7,8–9,2 тыс. руб./га. С учетом дополнительных переменных затрат на при-

бавку (500 руб./т) и затрат на биопрепараты (500 руб./га) чистый дополнительный доход от инокуляции достиг 7,1–8,4 тыс. руб./га при рентабельности агроприёма 11,6–13,7%. Это подтверждает, что даже в условиях сильного хлоридного засоления, когда базовая технология без инокуляции экономически неэффективна, применение биопрепаратов обеспечивает положительный экономический эффект и повышает устойчивость агроэкосистемы.

Выводы

Таким образом, результаты проведенного вегетационного опыта выявили, что предпосевная инокуляция семян горчицы сарептской (*Brassica juncea** (L.) Czern) сорта Люкс (к-2643) неспорообразующими (*Arthrobacter mysorens**, шт. 7 – Мизорин) и спорообразующими (*Bacillus subtilis**, шт. 26Д – Фитоспорин-М) ассоциативными штаммами ризобактерий повышает ее солеустойчивость. В среднем солеустойчивость опытных растений к натриево-хлоридному засолению возрастала на 15% (1% NaCl), на 16% (2% NaCl) и на 18% (3% NaCl) по отношению к вариантам без бактериализации. В результате это способствует нивелированию угнетения целого ряда морфофизиологических характеристик данной культуры в условиях сильного натриево-хлоридного засоления: 1% NaCl, 2%

NaCl и 3% NaCl. Показано, что бактериальные препараты на основе PGPR-бактерий способствуют менее резкому снижению всхожести, высоты растений, а также числа листьев, боковых побегов и продуктивности сухих надземных органов.

Засоление отрицательно сказалось на всех морфофизиологических процессах горчицы сарептской. При этом угнетение усиливалось с возрастанием солевого фона и приводило к снижению некоторых изучаемых параметров почти вдвое от контрольных данных. Особенно остро это ингибирование, относительно контроля (10,3 г/сосуд), отразилось на накоплении сухого вещества в надземных органах, где этот показатель снижался на 46% до 5,6 г/сосуд (1% NaCl), на 49% до 5,0 г/сосуд (2% NaCl) и на 54% до 4,7 г/сосуд (3% NaCl). Инокуляция Мизорином позволила снизить этот ингибирующий эффект, удерживая продуктивность на уровне 7,9–7,0 г/сосуд, а Фитоспорин-М повысил солеустойчивость по сухому веществу на 20–29% (до 8,2–7,3 г/сосуд).

В условиях солевого стресса препараты также существенно уменьшили снижение других параметров. Всхожесть, которая снижалась в условиях засоления на 30–57% (до 70–43%), при использовании Мизорина составляла 88–53% (снижение лишь на 12–47%), а при использовании Фитоспорины-М – 74–50%. Линейный рост после инокуляции Мизорином снижался только на 4–9% (59,0–56,0 см), а Фитоспорин-М – на 4–10% (59,3–55,3 см). Бактеризация сократила разницу с контролем по числу листьев на 10–11% (Мизорин) и 8–21% (Фитоспорин-М). Число боковых побегов на фоне 1% NaCl при использовании обоих препаратов полностью возвращалось к контрольному уровню – 5,0 шт. (против 4,0 шт. при засолении почвы).

Ассоциативные штаммы ризобактерий при отсутствии почвенного засоления стимулировали морфофизиологические процессы. По всем изученным параметрам наблюдалось превышение контрольных показателей, за исключением всхожести, где при использовании обоих биопрепаратов были отмечены максимальные значения, равные контрольным – 100%. При инокуляции семян горчицы Мизорином и Фитоспорин-М максимальные превышения составляли около 1/3 относительно контрольного варианта. Выраженная стимуляция отмечалась в отношении таких параметров, как листья (на 27–32% до 8,3–8,0 шт.) и боковые побеги (на 20–40% до 6,0–7,0 шт.) (табл. 1). Продуктивность сухой массы на нормаль-

ном агрофоне достоверно превысила контроль на 7% при обработке Мизорином (11,0 г/сосуд) и на 4% при обработке Фитоспорином-М (10,7 г/сосуд) (табл. 2).

Таким образом, применение биопрепаратов при возделывании горчицы сарептской на почвах, подверженных хлоридному засолению, является экономически оправданным агроприёмом, позволяющим существенно снизить потери урожая и получить дополнительный доход. За счёт сохранения от 0,46 до 0,54 т/га сухой массы надземных органов обеспечивается прирост дополнительной выручки на 7,8–9,2 тыс. руб./га. С учётом издержек на инокуляцию чистый дополнительный доход предприятия составляет от 7,1 до 8,4 тыс. руб./га при рентабельности агроприёма 11,6–13,7%.

Список литературы

1. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022 / Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Rome: FAO, 2022. 382 p. URL: <https://openknowledge.fao.org/items/fc06bd1-b7e9-4b94-a6a7-9ba45352976b>. (дата обращения: 26.02.2026). ISBN: 978-92-5-136930-2.
2. Shah A. N., Tanveer M., Abbas A., Fahad S., Baloch M. S., Ahmad M. I., Saud S., Song Y. Targeting salt stress coping mechanisms for stress tolerance in **Brassica**: a research perspective // Plant Physiol. Biochem. 2021. Vol. 158. P. 53-64. DOI: 10.1016/j.plaphy.2020.11.044.
3. 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.
4. Лебедев В. Н., Кондрат С. В., Ураев Г. А. Формирование структурных элементов продуктивности злаковых и капустных культур при использовании ризобактерий // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 13-19. DOI: 10.17513/use.37679.
5. Ha-Tran D. M., Nguyen T. T. M., Hung S.-H., Huang E., Huang C.-C. Roles of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in stimulating salinity stress defense in plants: A review // International Journal of Molecular Sciences. 2021. Vol. 22. № 6. P. 3154. DOI: 10.3390/ijms22063154.
6. Воеводина Л. А., Балакай Г. Т. Обзор новых направлений исследований по использованию микроорганизмов для повышения биопроductивности засоленных земель // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2017. № 4 (28). С. 154-169. URL: <https://rosniipm-sm.ru/article?n=337>. EDN: ZRWITN.
7. Boostani H. R., Chorom M., Moezzi A. A., Enayatizamir N. Mechanisms of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and mycorrhizae fungi to enhancement of plant growth under salinity stress // Sci. J. Biol. Sci. 2014. Vol. 3 (11). P. 98-107. DOI: 10.14196/sjbs.v3i11.1262.
8. Цыбулин В. В. Технология возделывания горчицы сарептской в системе рисовых севооборотов: дис. ... канд. с.-х. наук. Волгоград, 2014. 208 с. URL: <https://www.vavilovsar.ru/files/pages/11486/14210620540.pdf> (дата обращения: 26.02.2026).
9. Царенко В. П., Воробейков Г. А., Ефремова М. А. Полевые и вегетационные исследования по агрохимии и физиологии. СПб: Лань, 2023. 192 с. ISBN: 978-5-507-48170-5.
10. Ибатуллина Р. П., Алимова Ф. К., Кожемяков А. П., Кропачкина И. Ю., Менликиев Ф. М. Рекомендации по при-

менению биологических препаратов ООО «НПИ «Биопрепараты» в растениеводстве, кормопроизводстве и животноводстве. Казань: ООО «Центр инновационных технологий», 2017. 136 с. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_35323376_24733712.pdf (дата обращения: 26.06.2026). ISBN: 978-5-93962-856-3.

11. Лебедев В. Н., Ураев Г. А. Статистический анализ в биологии с использованием Excel. Часть 1. СПб: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена, 2017. 51 с. ISBN: 978-5-8064-1478-7. EDN: YOFOEX.

12. Лебедев В. Н., Воробейков Г. А., Ураев Г. А. Влияние инокуляции эндофитными ризобактериями на морфофизиологические особенности луковичных культур // Успехи современного естествознания. 2023. № 3. С. 5-10. DOI: 10.17513/use.38009.

13. Chu T. N., Tran H. B. T., Bui L. V., Hoang M. T. T. Plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas* PS01 induces salt tolerance in *Arabidopsis thaliana* // BMC Res. Notes. 2019. Vol. 12. Art. 11. DOI: 10.1186/s13104-019-4046-1.

14. Pan J., Peng F., Xue X., You Q., Zhang W., Wang T., Huang C. The growth promotion of two salt-tolerant plant groups with PGPR inoculation: a meta-analysis // Sustainability. 2019. Vol. 11. Art. 378. DOI: 10.3390/su11020378.

15. Khan V., Umar S., Iqbal N. Palliating salt stress in mustard through plant-growth-promoting rhizobacteria: regulation of secondary metabolites, osmolytes, antioxidative enzymes and stress ethylene // Plants. 2023. Vol. 12. № 4 Art. 705. DOI: 10.3390/plants12040705.

16. Кузьмина Л. Ю., Архипова Т. Н., Актуганов Г. Э., Галимзянова Н. Ф., Четвериков С. П., Мелентьев А. И. Бактерии родов **Advenella**, **Bacillus** и **Pseudomonas** – перспективная основа биопрепаратов для растениеводства // Биомика. 2018. Т.10. № 1. С. 16-19. EDN: XRLWPB.

17. Arkhipova T., Martynenko E., Sharipova G., Kuzmina L., Ivanov I., Garipova M., Kudoyarova G. Effects of Plant Growth Promoting Rhizobacteria on the Content of Abscissic Acid and Salt Resistance of Wheat Plants // Plants. 2020. Vol. 9. № 11. Art. 1429. DOI: 10.3390/plants9111429.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование: Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Financing: The research was performed without external funding.