

СТАТЬИ

УДК 631.417.2:631.8:582.683.2

**ИНОКУЛЯЦИЯ РИЗОБАКТЕРИЯМИ ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ  
НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ  
С РАЗНОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ ГУМУСОМ**

<sup>1</sup>Лебедев В.Н., <sup>1</sup>Воробейков Г.А., <sup>2</sup>Ураев Г.А.

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

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

В работе рассматриваются вегетационные опыты по изучению влияния предпосевной семенной инокуляции горчицы белой (*Sinapis alba* L.) сорта Чергинская (к-4219) ростостимулирующими ассоциативными ризобактериями (PGPR) (Мизорин, Флавобактерин и Вариоворакс). Одна часть опытных растений выращивалась в сосудах с почвой, отличающейся более высоким содержанием гумуса (2,4%), а вторая часть – на менее гумифицированной почве (1,5%). Обе почвы характеризовались достаточной биологической активностью дыхания почвенных микроорганизмов и их клетчаткоразрушающей способностью. В течение всего эксперимента учитывались всхожесть и основные ростовые процессы, которые определяют продуктивность зеленой массы горчицы белой в условиях Ленинградской области: высота растений, количество боковых побегов, длина междоузлий, сухая масса корней и надземных органов. Изучение морфоструктурных изменений растений и продуктивности надземных органов проводилось в фазу активного цветения, т.е. в период их укосной зрелости. В результате эксперимента было установлено, что бактериальные препараты Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) и Флавобактерин (*Flavobacterium sp.* штамм 30) оказывают наибольшее стимулирующее влияние на все исследованные нами параметры. Результаты вегетационного опыта показали, что действие микроорганизмов на стимуляцию всхожести, ростовых процессов и продуктивности, при выращивании растений на почве с более высоким содержанием гумуса было более выраженным. Опытные варианты с применением данных штаммов на фоне почвы, имеющей в своем составе меньшее количество гумуса, были в среднем на 8% (1–30%) менее эффективны. Проведенная оценка эффекта показывает, что при инокуляции растений повышается как урожайность, так и уровень доходов сельскохозяйственных предприятий от сухой зеленой массы.

**Ключевые слова:** инокуляция, продуктивность, стимуляция роста, горчица белая, вегетационный опыт, ризобактерии, способствующие росту растений (PGPR), гумус, клетчаткоразрушающая активность, ассоциативные ризобактерии, экономический эффект

**THE INOCULATION OF WHITE MUSTARD  
WITH RHIZOBACTERIA ON SOD-PODZOLIC SOIL  
WITH DIFFERENT HUMUS CONTENT**

<sup>1</sup>Lebedev V.N., <sup>1</sup>Vorobeykov G.A., <sup>2</sup>Uraev G.A.

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

<sup>2</sup>Emperor Alexander I Saint Petersburg State Transport University, Saint Petersburg,  
e-mail: uraev.ga@yandex.ru

In the article discusses vegetative experiments to study the effect of pre-sowing seed inoculation of white mustard (*Sinapis alba* L.) of the var. Cherginskaya (k-4219) with growth-stimulating associative rhizobacteria (PGPR) (Mizorin, Flavobacterin and Variovorax). One part of the experiment was grown in vessels with soil with a higher humus content (2,4%), and the second part on soil with lower humus content (1,5%). Both soils were characterized by sufficient biological activity of respiration of soil microorganisms and their fiber-destroying ability. During the whole experiment, germination and the main growth processes that determine the productivity of the green mass of white mustard in the conditions of the Leningrad region were taken into account: plant height, number of lateral shoots, length of internodes, dry mass of roots and aboveground organs. The study of morphological structure changes in plants and the productivity of aboveground organs was carried out during the phase of active flowering, i.e. during their oblique maturity. As a result of the experiment, it was found that the bacterial preparations Mizorin (*Arthrobacter mysorens*, strain 7) and Flavobacterin (*Flavobacterium sp.* strain 30) have the greatest stimulating effect on all the parameters studied by us. The results of the vegetation experiment showed that the action of microorganisms on the stimulation of germination, growth processes and productivity, when growing plants on soil with a higher humus content was more pronounced. Experimental variants using these strains against the background of soil containing a smaller amount of humus were on average 8% (1–30%) less effective. The conducted assessment of the effect shows that when plants are inoculated, both the yield and the level of income of agricultural enterprises from dry green mass increases.

**Keywords:** inoculation, productivity, growth stimulation, white mustard, pots experience, rhizobacteria promoting plant growth (PGPR), humus, fiber-destroying activity, associative rhizobacteria, economic effect

Активно распространяются в современном аграрном производстве биотехнологические методы, направленные на экологи- зацию получаемой сельскохозяйственной продукции. Особое внимание при этом уделяется использованию ростостимулирую-

щей группы ризобактерий (PGPR – от англ. plant growth-promoting rhizobacteria), ассоциативные штаммы которых способствуют повышению устойчивости и продуктивности культур даже в условиях влияния неблагоприятных факторов внешней среды [1, 2]. Однако [3, 4] использование данных микроорганизмов подразумевает не только их тщательный подбор к конкретному растению, но и учет определенных почвенно-климатических условий, в которых происходит взаимодействие в системе «бактерия – растение».

В настоящий момент имеются достаточно противоречивые сведения об эффективности ассоциативных взаимодействий ризобактерий и растений на почвах, отличающихся по агрохимическому составу питательных веществ [5]. Большинство исследователей [6, 7] указывают на то, что при повышении содержания общего азота в почве, внесении высоких доз минеральных удобрений происходит ингибирование взаимодействий между микроорганизмом и растением, но вместе с тем на высоко гумифицированных почвах эффективность данного ассоциативного комплекса оказывается выше, чем на более бедных [8].

Объектом нашего исследования служила горчица белая – перспективная для выращивания на зеленую массу в условиях северо-запада РФ малораспространенная культура [9]. Вегетативная масса этого растения практически не уступает редьке масличной, а условия Ленинградской области позволяют получать по два урожая надземных органов за один вегетационный период при весеннем (май) и летнем (июнь – начало июля) посевах.

Оценка эффективности инокуляции семян растений ассоциативными штаммами ризобактерий на дерново-подзолистой почве с различным содержанием гумуса представляла собой практическую цель нашего исследования.

#### Материалы и методы исследования

Работа проводилась в условиях вегетационного опыта с горчицей белой (*Sinapis alba* L.) сорта Чергинская (к-4219) по стандартной методике [10]. Исследование проводилось на территории агробиостанции РГПУ им. А.И. Герцена в пос. Вырица. Культура выращивалась в вегетационном домике в пластиковых сосудах на 5 кг почвы при естественных условиях освещения. В каждый сосуд помещалось по 20 семян, а после всходов их число выравнивалось до 10 шт. Повторность опыта четырехкратная.

В работе применялись биопрепараты, созданные и предоставленные лабораторией экологии симбиотических и ассоциативных ризобактерий ВНИИСХМ. Процесс инокуляции семян горчицы ризобактериальными препаратами проводился согласно рекомендациям [11] непосредственно перед их посевом. В опыте использовались штаммы, зарекомендовавшие себя как высокоэффективные для однолетних полевых капустных культур: Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Флавобактерин (*Flavobacterium sp.* штамм 30) и Вариоворакс (*Variovorax paradoxus*, штамм 5С-2). В контроле (без проведения инокуляции) семена поливались водой.

В опытах использовалась супесчаная дерново-слабоподзолистая почва с двух различных участков, где последние три года произрастала в качестве уравнительного посева овсяно-ячменная смесь. Химический и энзимологический анализы почвы проводили по общепринятым методикам [12, 13]: содержание гумуса определяли по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова; определение подвижных соединений фосфора и калия по А.Т. Кирсанову; гидrolитическую кислотность по Каппену; сумму поглощенных оснований по Каппену – Гильковицу; биологическую активность почвы по выделению  $\text{CO}_2$  по методу Иванова – Коссович; клетчаткоразрушающую активность почвы определяли по интенсивности разложения льняного полотна методом Мишустина, Вострова и Петровой.

Почвы, на которых проводились вегетационные опыты, были близки друг другу по совокупности агрохимических показателей и более всего отличались по показателю валового гумуса (табл. 1). Средние показатели биологической активности почв составляли 18,5 мг  $\text{CO}_2$ /г почвы в час в почве с более высоким содержанием гумуса (ВСГ) и 16,5 мг  $\text{CO}_2$ /г почвы в час при его меньшем содержании (НСГ).

Согласно рекомендациям [14], для повышения эффективности микробно-растительного ассоциативного комплекса перед посевом семян и инокуляцией в почву каждого сосуда вносилось комплексное минеральное удобрение азофоска из расчета  $\text{N}_{0,1}\text{P}_{0,1}\text{K}_{0,1}$  д.в. на каждый килограмм почвы. Опыт поддерживался регулярным поливом до 70% влажности от полной ее влагоемкости.

Всхожесть учитывалась на седьмой день посева.

**Таблица 1**

Агрохимическая характеристика дерново-слабоподзолистой супесчаной почвы, используемой в вегетационных опытах

Тип почвы	% гумуса	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	Hг мг/экв на 100 г почвы	S мг/экв на 100 г почвы	V, %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> мг/100г почвы	K <sub>2</sub> O мг/100 г почвы
ВСГ*	2,4	6,5	5,7	5,0	9,8	44,9	11,3	6,9
НСГ**	1,5	6,2	5,6	5,2	10,4	55,6	11,0	6,7

Примечание. \* – дерново-подзолистая почва с повышенным содержанием гумуса;  
\*\* – дерново-подзолистая почва с пониженным содержанием гумуса

**Таблица 2**

Влияние инокуляции семян ассоциативными ризобактериями на всхожесть (%) и высоту (см) растений горчицы белой

Вариант	ВСГ				НСГ			
	Всхожесть семян		Высота растений		Всхожесть семян		Высота растений	
	%	Δ%	см	%	%	Δ%	см	%
Контроль	70	–	50,1	100	70	–	24,0	100
Мизорин	82	+12	59,2	118	78	+8	27,2	113
Флавобактерин	76	+6	59,0	118	72	+2	26,5	110
Вариоворакс	74	+4	52,6	104	70	0	24,4	102
НСР <sub>0,05</sub>	1,8	–	3,8	–	1,6	–	2,6	–

Учет морфометрических параметров, а также продуктивности надземных органов проводился на хозяйственной стадии укосной спелости для использования зеленой массы культуры – фазы активного цветения. В этот же период, после ликвидации опыта, проводился анализ воздушно-сухой массы корней растений, участвовавших в вегетационном опыте. Полученные экспериментальные результаты обрабатывались статистическим методом дисперсионного анализа с использованием табличного процессора Microsoft Excel.

По результатам продуктивности сухой зеленой массы осуществлялась оценка экономического эффекта, который проводился с помощью расчета относительного изменения дохода от реализации сухой зеленой массы горчицы к контролю, где не производилась инокуляция семян. В более ранних работах нами было подробно рассмотрен данный подход к проведению оценивания экономического эффекта в аграрном производстве [15]. Следует отметить, что в исследовании не оценивались такие экономические показатели, как срок окупаемости, чистая приведенная стоимость и др., так как технология инокуляции семян не предполагает приобретение дополнительного оборудования и техники.

### Результаты исследования и их обсуждение

Вегетационный опыт выявил положительное действие предпосевной инокуляции семян ассоциативными ризобактериальными биопрепаратами уже на первых этапах органогенеза. Прорастание семян в опытных вариантах было выше, чем в контроле, где инокуляция не проводилась (табл. 2). На почве с более высоким содержанием гумуса максимальная всхожесть превышала контрольные данные (70%) на 12%, а с более низким – на 8%. При этом наиболее эффективным препаратом в обоих случаях оказался Мизорин.

Результаты анализа высоты растений в фазу их активного цветения свидетельствуют о стимулирующем влиянии отобранных микроорганизмов на ростовой процесс линейного роста горчицы. Предпосевная инокуляция семян Мизорином и Флавобактерином в условиях более гумифицированной почвы повышала высоту растений на 9,1 см (18%) и на 8,9 см (17%) относительно контроля (50,1 см) соответственно. Артробактерии, входящие в основу бактериального препарата Мизорин, также оказались самыми эффективными

в отношении стимуляции высоты растений на почве с меньшим содержанием гумуса – на 13 % (до 27,2 см), относительно варианта без проведения бактериализации семенного материала (24,0 см).

Стимуляция ростовых процессов у горчицы белой прослеживалась и на примере других показателей: числе боковых побегов и длине междоузлий (табл. 3). Известно [16], что боковые побеги оказывают большое влияние на продуктивность надземных органов горчицы, особенно в условиях водного стресса. В наших исследованиях бактериальная обработка семян Мизорином и Флавобактерином, выращенных на почве с более высоким значением гумуса, приводила к появлению от одного до двух дополнительных побегов по сравнению с контролем (11,0 шт./раст.). При этом на почве с более низким содержанием гумусовых веществ наиболее эффективной оказалась ризобактерия *Variovorax paradoxus*, штамм 5С-2, где отмечалось в среднем на один побег больше, чем у контрольной группы растений (9,0 шт./раст.).

В связи с тем, что формирование линейных показателей растений связано с изменением длины междоузлий, представляло

интерес оценить данный ростовой показатель в нашем опыте. Опытные варианты с использованием артробактерий (Мизорин) и флавобактерий (Флавобактерин) приводили к незначительному (на 5 %), но достоверному, относительно контроля, увеличению длины междоузлий у растений, выращенных на почве ВСГ. В опыте с почвой НСГ длина междоузлий у горчицы достоверно отличалась от контроля только в варианте с Мизорином (на 13 %).

Морфометрические изменения растений горчицы белой при инокуляции бактериальными препаратами на разном гумусном фоне нашли свое отражение и на формировании биомассы надземных органов (табл. 4). Согласно полученным нами результатам продуктивность сухой массы растений максимально увеличивалась в опытных вариантах (Мизорин и Флавобактерин), где ранее отмечался стимулирующий эффект ростовых процессов вне зависимости от количества гумуса в почве. Однако при его более высокой концентрации отмечались более высокие превышения (на 28–29%) в сравнении контролем, чем при его сравнительно низком почвенном содержании (на 20–22%).

Таблица 3

Действие ассоциативных ризобактерий на число боковых побегов (шт./раст.) и длину междоузлий растений (см)

Вариант	ВСГ				НСГ			
	Число боковых побегов		Длина междоузлий		Число боковых побегов		Длина междоузлий	
	шт./раст.	%	см	%	шт./раст.	%	см	%
Контроль	11,0	100	6,0	100	9,0	100	3,0	100
Мизорин	12,0	109	6,7	105	9,7	108	3,4	113
Флавобактерин	13,0	118	6,7	105	9,6	107	3,2	107
Вариоворакс	11,2	102	6,4	100	10,0	111	3,2	107
НСР <sub>0,05</sub>	0,8	–	0,4	–	0,6	–	0,3	–

Таблица 4

Продуктивность надземной массы (г/сосуд) и воздушно-сухая масса корней (г/сосуд) растений при обработке семян ассоциативными ризобактериями

Вариант	ВСГ				НСГ			
	Сухая зеленая масса растений		Масса корней растений		Сухая зеленая масса растений		Масса корней растений	
	г/сосуд	%	г/сосуд	%	г/сосуд	%	г/сосуд	%
Контроль	48,5	100	4,40	100	38,8	100	3,10	100
Мизорин	62,3	128	4,52	130	46,7	120	3,12	120
Флавобактерин	63,0	129	4,64	160	47,5	122	3,13	130
Вариоворакс	64,0	124	4,40	100	44,0	113	3,13	130
НСР <sub>0,05</sub>	1,8	–	0,11	–	1,6	–	0,1	–

Таблица 5

Клетчаткоразрушающая активность почв, использованных в различных вариантах опыта

Вариант	ВСГ			НСГ		
	НМ*	КМ**	СР***	НМ	ИМ	СР
	г	г	%	г	г	%
Контроль	1,2	0,5	59	1,2	0,05	96
Мизорин		0,6	50		0,2	83
Флавобактерин		0,8	33		0,1	92
Вариоворакс		0,6	50		0,1	92
НСР <sub>0,05</sub>	–	0,1	–	–	0,1	–

Примечание. НМ\* – начальная масса льняной полоски (г); КМ\*\* – конечная масса льняной полоски (г); СР\*\*\* – степень разложения (%).

Кроме того, нами были отмечены изменения воздушно-сухой массы корней растений, задействованных в вегетационном опыте. Показано, что инокуляция биопрепаратами оказывала также стимулирующее влияние на формирование корневой системы горчицы. Наиболее существенное накопление сухого вещества в подземных органах наблюдалось при бактеризации семян Флавобактерином, независимо от агрохимических характеристик использованной в эксперименте почвы. Более выражено это было при выращивании на ВСГ почве (на 60%), чем в условиях НСГ (на 30%), относительно контроля.

Для оценки интенсивности почвенно-биологических процессов нами в работе использовались показатели ферментативной активности (табл. 5). Степень разложения клетчатки в почве зависит от наличия в ней легкодоступного азота, фосфора и других элементов, поэтому принято считать, что это отражает эффективную активность микробиологических процессов в целом.

Обе почвы характеризовались относительно высокой степенью разложения клетчатки. Наибольшая целлюлозоразрушающая активность (83–96%) была отмечена у почвы с наименьшей концентрацией гумуса, что связано с активностью олиготрофной почвенной микрофлоры.

Оценка экономического эффекта сельскохозяйственного предприятия приведена в табл. 6.

Доходы сельскохозяйственных предприятий от реализации сухой зеленой массы горчицы белой на почвах с высоким и низким содержанием гумуса увеличиваются от 113,40% до 131,96%.

Таблица 6

Доход от реализации сухой зеленой массы горчицы белой при обработке семян ассоциативными ризобактериями, в % от контроля

Вариант	ВСГ	НСГ
Мизорин	128,45	120,36
Флавобактерин	129,90	122,42
Вариоворакс	131,96	113,40

Согласно полученным результатам относительный доход от реализации сухой массы растений максимально увеличивался на почвах с высоким содержанием гумуса в опытных вариантах с Мизорином и Вариовораксом, а на почвах с его более низким содержанием – Мизрином и Флавобактерином.

### Заключение

Таким образом, инокуляция семян горчицы белой (*Sinapis alba* L.) сорта Чергинская (к-4219) ассоциативными ризобактериальными штаммами на почвенном фоне разного содержания гумуса выявила эффективность применения биопрепаратов Мизорином (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) и Флавобактерином (*Flavobacterium sp.* штамм 30). Во всех исследованных нами параметрах у данных опытных вариантов наблюдались наиболее значительные прибавки по сравнению с контрольными данными. При этом проявление действия микроорганизмов на стимуляцию всхожести, ростовых процессов и продуктивности, при выращивании растений на почве с более высоким содержанием гумуса (2,4%) было

более выраженным. Так, всхожесть увеличивалась на 12%, высота боковых побегов – на 18%, длина междоузлий – на 5%, сухая масса корней – на 29% и надземных органов – на 60%. Опытные варианты с применением данных штаммов на фоне почвы, содержащей 1,5% гумуса, были в среднем на 8% (1–30%) менее эффективны.

Кроме того, проведенная оценка экономического эффекта от реализации сухой зеленой массы горчицы белой, семена которой были инокулированы ассоциативными ризобактериальными штаммами, показывает возможность увеличения уровня доходов сельскохозяйственных предприятий. Однако следует отметить влияние содержания почвенного гумуса на уровень экономического дохода от реализации сухой массы растений, прошедших бактериализацию.

#### Список литературы

1. Артамонова М.Н., Потатуркина-Нестерова Н.И., Беззубенкова О.Е. Роль бактериальных симбионтов в растительно-микробных ассоциациях // Вестник Башкирского университета. 2014. № 1 (19). С. 81–84.
2. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Повышение продуктивности растений семейства капустных (*Brassicaceae* Burnett.) при инокуляции семян бактериальными препаратами на основе ассоциативных штаммов // Успехи современного естествознания. 2017. № 5. С. 41–45.
3. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2012. Vol. 28. P. 1327–1350.
4. Лебедев В.Н. Ассоциативные штаммы бактерий как современный элемент экологизации выращивания капустных растений // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2014. № 168. С. 49–53.
5. 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.
6. Fatih C., Murat E., Mehmet S., Arzu C. The Role of Beneficial Microorganisms in the Protection of Plants Growing in Natural Landscape Areas. *Siirt*. 2017. P. 427–442.
7. Миннебаев Л.Ф., Рафикова Г.Ф., Четвериков С.П., Чанышев И.О., Логинов О.Н. Влияние азотфиксации несимбиотическими бактериями на содержание азота в грунте без растений // Агрохимия. 2018. № 9. С. 63–68.
8. Алферов А.А., Завалин А.А., Кожемяков А.П., Чернова Л.С. Влияние удобрения и ризоагрина на урожайность и качество зерна яровой пшеницы, потоки азота в системе удобрение – почва – растение // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 9. С. 10–15.
9. Велкова Н.И., Наумкин В.П. Факторы, влияющие на урожайность горчицы белой // Вестник научных конференций. 2016. № 11–5 (15). С. 48–50.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 6-е изд. М.: Альянс, 2011. 350 с.
11. Круглов Ю.В. Микробное сообщество почвы: физиологическое разнообразие и методы исследования // Сельскохозяйственная биология. 2016. № 1. С. 46–59.
12. Хазиев Ф.Х. Экологические связи ферментативной активности почв // Экобиотех. 2018. Т. 1. № 2. С. 80–92.
13. Мудрых Н.М., Пинаева М.И. Агрохимия: лабораторный практикум. Пермь: ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ им. акад. Д.Н. Прянишникова, 2020. 77 с.
14. Гамзаева Р.С. Количественная и качественная оценка биологической активности дерново-подзолистой почвы при применении бактериальных препаратов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 58. С. 103–109.
15. Лебедев В.Н., Ураев Г.А. Оценка эффективности инокуляции семян четырех видов горчиц ассоциативными азотфиксирующими штаммами ризобактерий // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–25. С. 5594–5598.
16. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А. Продуктивность растений семейства *Brassicaceae* при инокуляции семян бактериальными препаратами // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. Петрозаводск, 2017. № 12. С. 80–86.