

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-108-113>
УДК: 631.8:637.146.4:658.155

Е.И. Маградзе*

ФГБОУ ВО «Удмуртский
государственный университет»
426034, Россия, Удмуртская республика,
г. Ижевск, ул. Университетская, 1

*Автор для переписки:

elena.magradze@gmail.com

Вклад автора: Е.И. Маградзе: концептуализация, методология, проведение исследования, написание рукописи и ее редактирование.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Маградзе Е.И. Влияние способа получения нового удобрения, содержащего *Streptomyces coelicolor*, выращенных на молочной сыворотке, на его эффективность. *Овощи России*. 2025;(1):108-113.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-108-113>

Поступила в редакцию: 03.09.2024

Принята к печати: 02.12.2024

Опубликована: 28.12.2024

Elena I. Magradze*

Udmurt Republic State University
1, Universitetskaya, Izhevsk,
Udmurt Republic, 426034, Russia.

*Corresponding Author:

elena.magradze@gmail.com

Author's Contribution: E.I. Magradze: conceptualization, methodology, conducting the study, writing the manuscript and editing it.

Conflict of interest. The author declares that he has no conflict of interest.

For citation: Magradze E.I. The effect of the method of production a new fertilizer containing *Streptomyces coelicolor* grown on whey on its effectiveness. *Vegetable crops of Russia*. 2025;(1):108-113. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2025-1-108-113>

Received: 03.09.2024

Accepted for publication: 02.12.2024

Published: 28.12.2024

Влияние способа получения нового удобрения, содержащего *Streptomyces coelicolor*, выращенных на молочной сыворотке, на его эффективность

Check for updates



CC BY NC

РЕЗЮМЕ

Актуальность. В последние годы активно расширяется рынок микробиологических удобрений. Для того, чтобы новые биоудобрения эффективно работали, важно не только подбирать качественный и количественный состав микроорганизмов, но и изучать влияние этих бактерий на их численность, распространение и долговременность пребывания в почве, а также воздействие на растения. Цель исследования: выявить влияние способа получения удобрения на основе молочной сыворотки, содержащей *Streptomyces coelicolor*, на количество и длительность содержания этих бактерий в почве, а также на ростовые характеристики горчицы белой (*Sinapis alba* L.), посеянной в почву через длительный временной интервал после полива удобрением.

Методы. Биоудобрение получали, выращивая бактерии *Streptomyces coelicolor* на разведенной и автоклавированной молочной сыворотке. Инокулят для удобрения получали двумя способами: однократным культивированием на жидкой среде Ваксмана и последовательным культивированием в молочной сыворотке в возрастающих объемах. Культивировали без перемешивания и с перемешиванием в термостатируемом шейкере. Эффективность удобрений изучали в лабораторных условиях на почвах в контейнерах. Количество *Streptomyces coelicolor* в почве определяли через 0,5, 1,5, 2 и 4 месяца после полива удобрениями. Влияние удобрения на семена горчицы белой, посеянной через два месяца после полива, определяли по характеристикам качества семян, количеству листьев и ростовым параметрам листовых пластинок.

Результаты. Удобрение, полученное путем последовательного культивирования инокулята и выращиванием стрептомицетов без перемешивания, содержало в десять раз больше стрептомицетов, чем удобрения, полученные другим способом, а также эффективнее увеличивало количество стрептомицетов в почве. После однократного применения удобрений стрептомицеты длительно сохранялись в почве. По влиянию на количество листьев и площадь листовой пластинки самыми эффективными оказались удобрения, культивируемые без перемешивания.

Заключение. Удобрение, полученное методом последовательного культивирования инокулята в возрастающих объемах и выращивания стрептомицетов без перемешивания, способствует большему увеличению стрептомицетов в почве и более эффективно при выращивании горчицы белой, по сравнению с удобрениями, полученными другими способами. Оно эффективно действует на рост культур, посеянных в почву через длительное время после полива. Удобрение можно применять в комнатном растениеводстве и тепличных хозяйствах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

биоудобрение, молочная сыворотка, *Streptomyces coelicolor*

The effect of the method of production a new fertilizer containing *Streptomyces coelicolor* grown on whey on its effectiveness

ABSTRACT

Relevance. In recent years, we have seen an increase in the number of new bacterial fertilizers. New fertilizers must be effective, so it is important to select their qualitative and quantitative composition. It is equally important to study the effect of these bacteria on their number, dissemination and long-term residence in the soil, as well as their effects on plants.

Aim of the Study. This work studies the effect of the method of obtaining a fertilizer containing *Streptomyces coelicolor* grown on the whey on the amount and duration of these bacteria in the soil and on the growth characteristics of white mustard (*Sinapis alba* L.) sown into the soil after a long time after watering with fertilizer.

Methods. The whey was diluted and autoclaved, *Streptomyces coelicolor* were grown on this substrate. An inoculum for this biofertilizer was obtained in two ways. The first way: *Streptomyces coelicolor* were grown once on a Waksman's media. The second way: the inoculum was sequentially grown on the whey, gradually increasing the volume. Bacteria in fertilizer were cultivated without mixing or by mixing in the temperature-controlled shaker. We studied the effect of biofertilizer on soil in containers in the laboratory. The amount of *Streptomyces coelicolor* in the soil was determined 0.5, 1.5, 2 and 4 months after watering with fertilizer. Seeds of white mustard were sown two months after watering with fertilizer. We studied the effect of fertilizer on growth characteristics of white mustard.

Results. The fertilizer obtained by sequentially cultivating the inoculum and growing streptomycetes without mixing contained ten times more streptomycetes than fertilizers obtained by another method. This biofertilizer also effectively increased the number of streptomycetes in the soil. *Streptomyces* from fertilizer have been preserved in the soil for a long time. The effect of biofertilizers obtaining without mixing on growth characteristics of white mustard was the most effectively.

Conclusion. The fertilizer obtained by sequentially cultivating the inoculum and growing streptomycetes without mixing contributes to a more increase of streptomycetes number in the soil and is more effective in growing white mustard than fertilizers obtained by other methods. Our biofertilizer is effective in growing crops sown in the soil for a long time after watering with fertilizer. The fertilizer can be used in indoor crop production and greenhouse farms.

KEYWORDS:

biofertilizer, dairy whey, *Streptomyces coelicolor*

Введение

Рынок микробиологических удобрений активно расширяется в последние годы, разрабатываются новые удобрения, увеличивается список видов бактерий, используемых в качестве биопрепаратов [1,2]. Микроорганизмы, входящие в состав биоудобрений, попадая в почву, оказывают положительное влияние на рост и развитие растений [3,4]. Применение бактериальных удобрений позволяет уменьшить количество вносимых в почву минеральных удобрений и пестицидов или отказаться от них, так как они в избытке негативно влияют на почву, а при вымывании из нее – на близлежащие водоемы [5-7]. Также одним из плюсов биоудобрений является более экологичное производство, по сравнению с изготовлением минеральных удобрений [8].

Однако несмотря на положительные качества, биоудобрения применяются ограниченно. Причина в том, что возможности биоудобрений, по сравнению с минеральными и органическими препаратами, до конца не изучены. Живые организмы, входящие в состав биопрепаратов, зависимы от климатических условий, стрессовых факторов в почве, от других микроорганизмов [8]. Поэтому при разработке новых биоудобрений важно не только строго выдерживать количественное и качественное содержание полезных для растений бактерий, но и изучать влияние этих микроорганизмов на их численность, распространение и долговременность пребывания в почве.

Стрептомицеты хорошо подходят в качестве потенциальных кандидатов для производства биоудобрений. Они активно заселяют ризосферу растений, переводят ионы некоторых металлов из нерастворимой в растворимую форму, улучшают рост растений за счет выделяемых фитогормонов, обладают антимикробным, антиоксидантным, противовирусным и фунгицидным действием [9-13]. Для усиления эффекта рекомендовано использовать стрептомицеты из местных почв [14]. Однако стрептомицеты, по сравнению с другими родами бактерий, редко используются в удобрениях, несмотря на то, что есть исследования, доказывающие положительное влияние отдельных видов стрептомицетов на растения, и рекомендации использовать эти штаммы в биоудобрениях [15-18].

Разрабатываемое нами удобрение содержит стрептомицеты, выделенные из почвы Ботанического сада Удмуртского государственного университета. Ранее нами было исследовано влияние разработанного нами удобрения на прорастание семян и ростовые параметры растений при использовании нашего биопрепарата непосредственно во время посева [19]. Но не менее важно изучить длительность положительного эффекта удобрения в почве, влияние бактерий, попавших в почву из биоудобрения, на растения, посеянные через некоторое время после обработки почвы удобрением.

Цель работы: выявить влияние способа получения удобрения на основе молочной сыворотки, содержащего *Streptomyces coelicolor*, на количество и длительность содержания этих бактерий в почве, а также на ростовые характеристики горчицы белой (*Sinapis alba* L.), внесенной в почву через длительный временной интервал после полива удобрением.

Методы и материалы исследования

Новое удобрение было получено путем выращивания бактерий вида *Streptomyces coelicolor* на молочной сыворотке, которую разводили в 8 раз водой и автоклавировали. Использовали кислую творожную молочную сыворотку. Стрептомицеты выделили из почвы Учебного Ботанического сада ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет». Почва ботанического сада дерново-подзолистая, легкосуглинистая, бедная, со слабокислой реакцией и низкой суммой поглощенных оснований. Бактерии выделяли на питательную среду Ваксмана для стрептомицетов. Состав среды (г/л воды): глицерин – 3,0; K_2HPO_4 – 1,0; $NaNO_3$ – 2,0; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,5; KCl – 0,5; агар – 20. При приготовлении жидкой питательной среды агар не добавляли. Таким образом, использовали штамм, выделенный из почвы нашего региона в лаборатории микробиологии и физиологии растений Удмуртского государственного университета.

Удобрение получали двумя способами. В первом случае стрептомицеты с поверхности агаризованной среды Ваксмана переносили в жидкую среду Ваксмана. После 7 суток культивирования в термостате содержимое колбы перемешивали и разливали в 3 колбы с сывороткой. Удобрением является культуральная жидкость, содержащая биомассу, остатки питательной среды и продукты метаболизма, полученная после 7 суток культивирования при $(30 \pm 1)^\circ C$. При втором способе стрептомицеты со скошенной агаризованной среды Ваксмана переносили в 3 пробирки с 5 мл молочной сыворотки. Через 7 суток культивирования из пробирок содержимое полностью перенесли в три колбы с 50 мл молочной сыворотки из расчета 1 пробирка – одна колба. После 7 суток культивирования содержимое колб перенесли в колбы с 250 мл сыворотки. Таким образом, после 7 суток культивирования получили удобрение, представляющее собой культуральную жидкость. Оба способа получения удобрения подразумевают наличие в нем молочной сыворотки, переработанной стрептомицетами, и самих микроорганизмов.

Биоудобрения, получаемые первым способом, культивировали в стационарных условиях в термостате и в термостатируемом шейкере. Условное обозначение удобрений: Т1 и Ш1 соответственно. Биоудобрения, получаемые вторым способом, культивировали только в термостате, не перемешивая. Удобрению присвоили обозначение Т2.

При отсутствии перемешивания стрептомицеты образуют на поверхности жидкой питательной среды плотные «глыбки» [20], практически не распределяясь по объему жидкости. На их поверхности развивается воздушный мицелий со спорами. При перемешивании удобрения после культивирования крупные «глыбки» распадаются на более мелкие, но хорошо видные невооруженным глазом. При перемешивании во время культивирования мицелий «глыбок» не образует, равномерно распределен по объему среды и практически не виден невооруженным глазом.

Полученными удобрениями поливали контейнеры с почвой. Почва – из ботанического сада, характеристики почвы представлены выше. Параметры почвы в контейнере 9,05x6,37x5,41 см. Масса почвы – 330 г. За двое суток до начала эксперимента почву полили одинаковым объемом воды, чтобы она не была сухой. Каждым видом удоб-

рения поливали по три контейнера. Объем удобрения рассчитывали, исходя из предположения, что стрептомицеты в виде «глыбок» не смогут распределиться по всему объему почвы, а займут небольшой слой у поверхности. Площадь почвы составила 57,64 см². В каждый контейнер залили по 50 мл удобрения. В качестве контроля три контейнера поливали водой и три контейнера поливали разведенной и автоклавированной сывороткой, объем сыворотки и воды также составил по 50 мл на каждый контейнер. Всего было использовано 15 контейнеров.

В дальнейшем почву во всех контейнерах поливали водой по мере высыхания. Для подсчета концентрации *Streptomyces coelicolor* в почве определяли КОЕ/г колониеобразующих единиц на 1 г почвы (КОЕ/г) методом десятикратных разведений 1 г почвы и высевом на плотную среду Ваксмана по методу Коха. Почвенные пробы для подсчета КОЕ *Streptomyces coelicolor* в контейнерах отбирали на глубине 0,5-1 см от поверхности трижды: через 2 недели, 1,5 месяца и 2 месяца после полива. После третьего отбора проб в каждый контейнер посеяли по 20 семян горчицы. Определяли энергию прорастания и всхожесть семян горчицы. Через месяц после посева посчитали количество выживших растений, количество листьев каждого растения, определили длину и ширину листьев. Данные по количеству листьев, их длине и ширине усреднили для каждого вида полива. После уборки горчицы почву контейнера поливали водой в течение 1 месяца, не допуская пересыхания. Через месяц снова отобрали пробы из контейнеров на глубине 0,5-1 см от поверхности и 0,5-1 см от дна и посчитали КОЕ *Streptomyces coelicolor*. Статистическую обработку данных проводили в программе Excel, применяя непараметрический критерий Данна в случае с КОЕ стрептомицетов и критерий Стьюдента при расчетах параметров горчицы по С. Гланц (1998) и Г.Ф. Лакину (1990) [20,21].

Результаты и обсуждение

Конечное количество КОЕ стрептомицетов в удобрении зависит от способа получения удобрения. Удобрение, полученное посевом первичного инокулята в питательную среду, содержало на порядок меньше стрептомицетов, чем удобрение, полученное путем последовательного культивирования инокулята. Среднее количество КОЕ стрептомицетов в удобрениях представлено в таблице 1.

При отсутствии перемешивания стрептомицеты образуют на поверхности жидкой питательной среды плотные «глыбки» [22], практически не распределяясь по объему жидкости. Этим объясняется большой разброс значений при подсчете КОЕ, так как невозможно перемешать удобрение до однородного распределения стрептомицетов по объему питательной среды. На их поверхности развивается воздушный мицелий со спорами. При перемешивании удобрения после культивирования крупные «глыбки» распадаются на более мелкие, но хорошо видные невооруженным глазом. При перемешивании во время культивирования мицелий «глыбок» не образует, равномерно распределен по объему среды и практически не виден невооруженным глазом.

Так как «глыбки» являются образованиями, видимыми невооруженным глазом, то мы предположили, что при поливе нашим удобрением стрептомицеты не распределяются по объему почвы, а располагаются в плоскости, близкой к ее поверхности. Ожидаемое количество КОЕ стрептомицетов в почве рассчитали, поделив объем удобрения на площадь почвы в контейнере. Результаты, полученные через две недели после полива почвы удобрениями (табл. 1), показали, что основная часть стрептомицетов осталась в верхнем слое почвы.

Из-за большого разброса значений количество стрептомицетов в почве после полива удобрениями Т1 и Ш1, а также сывороткой и водой достоверных различий не имело. Однако количество стрептомицетов в почве после полива удобрением Т2 достоверно отличалось от их количества во всех других почвах опыта.

Через 1,5 месяца после полива удобрениями было вновь посчитано количество КОЕ стрептомицетов в почве для отслеживания динамики их роста. Почвы после полива сывороткой и водой в опыте не участвовали. Мы наблюдали увеличение количества КОЕ стрептомицетов в почвах, политых удобрением Т1 и Т2. Однако достоверных различий в динамике роста не наблюдали. Количество КОЕ стрептомицетов в почве после удобрения Т2 достоверно отличалось от количества КОЕ стрептомицетов в почвах, политых удобрениями Т1 и Ш1. Между количеством КОЕ стрептомицетов в почвах, политых удобрением Т1 и Ш1, достоверных различий выявлено не было.

Через два месяца после полива количество КОЕ стрептомицетов в каждом виде полива снизилось, однако достоверных различий в динамике численности стрепто-

Таблица 1. Влияние концентрации *Streptomyces coelicolor* в удобрении на концентрацию этих бактерий в почве
Table 1. Effect of *Streptomyces coelicolor* concentration in fertilizer on *Streptomyces coelicolor* concentration in soil

Вариант опыта	Удобрение, 10 ⁵ КОЕ/мл <i>Streptomyces coelicolor</i> ,	Ожидаемое количество, 10 ⁵ КОЕ/г <i>Streptomyces coelicolor</i> в почве, глубина 0,5-1,0 см, после полива	10 ⁵ КОЕ/г <i>Streptomyces coelicolor</i> в почве, глубина 0,5-1,0 см, через две недели после полива, *10 ⁵
Т1	0,73±0,18	0,63	0,75±0,66
Ш1	2,41±0,72	2,09	3,08±1,41
Т2	37,79±25,29	32,75	36,75±11,88*
сыворотка	-	-	0,44±0,24
контроль	-	-	0,14±0,11

Примечание: статистически достоверно отличаются от параметров других вариантов (критерий Данна, уровень значимости 0,05)

мицетов в почве не наблюдалось. Достоверно различались данные по количеству стрептомицетов в почве, политой удобрением Т2 и других почвах. Количество стрептомицетов в почве после полива сывороткой также достоверно отличалось от количества стрептомицетов в других почвах. Достоверных различий в почвах, политых удобрениями Т1 и Ш1 обнаружено не было. Данные по количеству стрептомицетов в почве через 1,5 и 2 месяца после полива удобрениями представлены в таблице 2.

Средние характеристики роста горчицы представлены в таблице 3. Энергия прорастания и всхожесть семян горчицы минимальны при поливе удобрением Ш1, но статистическая обработка результатов не выявила достоверных различий между видами полива.

Мы измеряли количество листьев, а также длину и ширину листовой пластинки. От количества и параметров листьев зависит количество получаемой световой энергии. В среднем, количество листьев на одно растение было максимальным у растений, поливаемых удобрением Т1, и достоверно отличалось от такого же параметра у растений из почвы, политой удобрением Ш1, а также сывороткой и водой. Между средним количеством листьев у растений, поливаемых удобрением Т1 и Т2 статистически достоверных различий не наблюдалось. Но, также не было достоверных различий по среднему количеству листьев между растениями, поливаемыми удобрением Т2 и остальными видами полива. Достоверных различий между водой и другими видами полива, кроме Т1, не наблюдалось. Среднее количество листьев у растений, политых удобрением Т1, на 16% превышает тот же показатель у растений, политых водой. Доказательством того, что в удобрении стрептомицеты и продукты их метаболизма являются действующими агентами, служат растения, политые молочной сывороткой, подготовленной как питательная среда для стрептомицетов. Среднее количество листьев у растений, политых сывороткой, было минимальным. Однако статистически достоверно эти показатели отличались только от растений, политых удобрениями Т1 и Т2. Стрептомицеты в почве положительно повлияли на среднее количество листьев у горчицы. При этом, стрептомицеты, которые не образовывали агрегаты во время культивирования на шейкере, не оказали положительного влияния на среднее число листьев у растений. «Глыбки» стрептомицетов, которые при поливе удобрением задерживаются в почве у поверхности,

оказывают положительное влияние на семена горчицы, которые посеяны неглубоко в почву, непосредственно взаимодействуя с ними. Таким образом, на количество листьев повлиял характер роста стрептомицетов, но не их количество в удобрении.

Средняя длина листа максимальна у растений, выросших после полива удобрением Т2, при этом достоверных различий не наблюдалось только с растениями, поливаемыми водой. Тем не менее, увеличение листовой пластинки по сравнению с контролем равно 15,49%. Полив сывороткой негативно повлиял на длину листовой пластинки, разница с другими поливами статистически достоверна. Полив удобрением Т2 положительно повлиял на площадь листовой пластинки. Средняя ширина листа у горчицы была максимальной в опыте с поливом Т2 и достоверно отличалась от того же параметра у растений, выросших при других видах полива. Средняя ширина листовой пластинки на 20,97% больше, чем при поливе водой. При этом, средняя ширина пластинки у растений, политых сывороткой, была минимальной и достоверно отличалась от того же параметра, у растений, выросших при других видах полива.

Таким образом, разведенная и проавтоклавированная молочная сыворотка негативно влияет на среднее количество листьев, а также их длину и ширину у растений. Следовательно, основными агентами в нашем удобрении являются стрептомицеты. Удобрение из шейкера не повлияло на ростовые параметры растений. Возможно, агрегация стрептомицетов в удобрении позволяет им в виде пеллет находиться в почве, а, следовательно, быть более устойчивыми к окружающей среде, чем неагрегированные стрептомицеты, и обеспечивать более высокую концентрацию полезных для растения веществ в прикорневой зоне.

Через месяц после сбора растений горчицы среднее количество стрептомицетов в почвах после полива удобрениями уменьшилось, однако статистически достоверным уменьшение не было (табл. 4). Таким образом, стрептомицеты из удобрения увеличили количество стрептомицетов в почве, и их число через четыре месяца после полива остается на высоком уровне. В закрытом помещении, где на почву не влияют погодные условия, в условиях постоянного полива стрептомицеты в течение длительного времени не подавляются почвенной микрофлорой.

Таблица 2. Динамика концентрации *Streptomyces coelicolor* в почве опыта
Table 2. Dynamics of *Streptomyces coelicolor* concentration in the soil

Вариант опыта	KOE/г <i>Streptomyces coelicolor</i> в почве, глубина 0,5-1,0 см, через 1,5 месяца после полива, *10 ⁵	KOE/г <i>Streptomyces coelicolor</i> в почве, глубина 0,5-1,0 см, через 2 месяца после полива, *10 ⁵
Т1	1,3±0,48	0,23±0,88
Ш1	1,49±0,44	0,37±0,17
Т2	44,79±11,98*	24,92±3,15
Сыворотка	-	0,02±0,02
Вода	-	0

Примечание: статистически достоверно отличаются от параметров других вариантов (критерий Данна, уровень значимости 0,05)

Таблица 3. Показатели всхожести и биометрические характеристики горчицы в опыте с биоудобрением на основе *Streptomyces coelicolor*
Table 3. Germination indicators and biometric characteristics of mustard in the experiment with biofertilization based on *Streptomyces coelicolor*

Вариант опыта	Энергия прорастания семян горчицы, %	Всхожесть семян горчицы	Среднее количество листьев	Средняя длина листьев	Средняя ширина листьев
Т1	90,00±2,89	96,67±3,33	2,40±0,08	6,34±0,31	4,04±0,23
Ш1	33,33±13,64	48,33±15,90	2,10±0,11	5,83±0,29	3,79±0,22
Т2	78,33±11,67	78,33±9,28	2,30±0,09	7,38±0,36*	4,96±0,26*
сыворотка	93,33±3,33	80,00±2,89	1,93±0,06	4,85±0,24*	2,68±0,15*
Контроль	78,33±19,22	80,00±11,55	2,07±0,11	6,39±0,36	4,10±0,24

Примечание: статистически достоверно отличаются от параметров других вариантов (критерий Стьюдента, уровень значимости 0,05)

Таблица 4. Изменение численности *Streptomyces coelicolor* в почве через четыре месяца после внесения удобрений
Table 4. *Streptomyces coelicolor* concentration in soil changes four month after fertilization

Вариант опыта	Количество стрептомицетов 10 ⁵ КОЕ/г почвы через 1 месяц после сбора урожая горчицы	Стандартная ошибка
Т1	0,35	0,15
Ш1	0,52	0,18
Т2	4,5±	1,76
Сыворотка	0,004	0,003
Контроль	0,01	0,01

Заключение

Стрептомицеты, содержащиеся в микробиологическом удобрении, увеличивают количество этих бактерий в почве. В комнатных условиях стрептомицеты длительное время могут сохраняться в грунте. Большую роль играет способ выращивания *Streptomyces coelicolor* при получении биоудобрения. В отсутствие перемешивания стрептомицеты образуют на поверхности питательной среды «глыбки», что позволяет при обработке почвы не распределяться по ее объему, а задерживаться около поверхности, куда высевают семена. Этот факт необходимо учитывать при расчете расхода удобрения, добавляя его исходя не из объема, а из площади, которую занимает почва в контейнере. Агрегированные стрептомицеты легче переносят стрессовые условия окружающей среды. На ростовые параметры горчицы оказали влияние агрегация стрептомицетов и количество их КОЕ. Удобрение, полученное путем постепенного увеличения объема инокулята, содержало больше стрептомицетов, чем полученное путем однократного посева инокулята. Чем выше концентрация стрептомицетов в удобрении, тем лучше эффект, который оно оказывает на горчицу. В закрытых помещениях, где отсутствует влияние погодных условий на почву, стрептомицеты могут сохраняться в грунте длительное время. Поэтому новое удобрение можно использовать в комнатном растениеводстве и тепличном хозяйстве.

Литература

- Shahwar D., Mushtaq Z., Mushtaq H., Alqarawi A.A., Younhoon Park Y., Alshahran T.S., Faizan S. Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: a review. *Heliyon*. 2023;9(6):e16134. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16134>
- Yadav A., Yadav K. Challenges and Opportunities in Biofertilizer Commercialization. *SVOA Microbiology*. 2024;5(1):1-14. <https://doi.org/10.58624/SVOAMB.2024.05.037>
- Santos F., Melkani S., Oliveira Paiva C., Bini D., Pavuluri K., Gatiboni L., Mahmud A., Torres M. Eric McLamore E., Bhadha J.H. Biofertilizer use in the United States: definition, regulation, and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2024;108(1):511. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13347-4>
- Wei X., Xie B., Wan C., Song R., Zhong W., Xin S., Song K. Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers: mechanisms, benefits, and sustainable agricultural practices. *Agronomy*. 2024;(14):609. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030609>
- Потетня К.М. Влияние химических удобрений на окружающую среду.

- Научно-технический вестник: технические системы в АПК. 2022;3-4(15-16);42-47. <https://elibrary.ru/crepec>
- Потетня К.М. Питательный стресс почвы как следствие использования непропорциональных норм химических удобрений. *Научно-технический вестник: технические системы в АПК*. 2023;1(17):35-43. <https://elibrary.ru/ijxgrh>
- Ammar E.E., Rady H.A., Khattab A.M., Amer, M.H., Mohamed, S.A., Elodamy, N.I., Al Farga A., A Aioub A.A. A comprehensive overview of eco-friendly bio-fertilizers extracted from living organisms. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(53):113119-113137. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30260-x>
- Khan A., Singh A.V., Gautam S.S., Agarwal A., Punetha A., Upadhayay V.K., Kukreti B., Bundela V., Jurgan A.K., Goel R. Microbial bioformulation: a microbial assisted biostimulating fertilization technique for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2023;(14):1270039. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1270039>
- Kaari M., Manikkam R., Annamalai K.K., Joseph J. Actinobacteria as a source of biofertilizer/biocontrol agents for bio-organic agriculture. *Journal of Applied Microbiology*. 2023;(134). <https://doi.org/10.1093/jambio/txac047>

10. Nazari M.T., Schommer V.A., Braun J.C.A., dos Santos L.F., Lopes S.T., Simon V., Machado B.S., Ferrari V., Colla L.M., Piccin J.S. Using *Streptomyces* spp. as plant growth promoters and biocontrol agents. *Rhizosphere*. 2023;(27):100741. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100741>.
11. Olanrewaju O.S., Babalola O.O. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019;(103):1179–1188. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09577-y>
12. Oumaima B., Faouzi E. *Streptomyces* at the heart of several sectors to support practical and sustainable applications: a review. *Progress In Microbes & Molecular Biology*. 2023;6(1). <https://doi.org/10.36877/pmmb.a0000345>
13. Youseif S.H., El-Megeed F.H.A., Salous M.S., Mohamed A.H. *Streptomyces* biostimulants: an effective sustainable approach to reduce inorganic N input and maintain high yield of wheat crop in different soil types. *Journal of Applied Microbiology*. 2023;134(8):156. <https://doi.org/10.1093/jambio/ixad156>
14. Orouji E., Baba M.F.G., Sadeghi, A., Gharanjik S., Koobaz P. Specific *Streptomyces* strain enhances the growth, defensive mechanism, and fruit quality of cucumber by minimizing its fertilizer consumption. *BMC Plant Biol*. 2023;(23):246. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04259-y>
15. Широких И.Г., Назарова Я.И., Бакулина А.В., Абубакирова Р.И. Новые штаммы стрептомицетов как перспективные биофунгициды. *Теоретическая и прикладная экология*. 2021;(1):172-180. <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-172-1801> <https://elibrary.ru/suhxy>
16. Aallam Y., Dhiba D, El Rasafi T., Abbas Y., Haddioui A., Tarkka M., Hamdali H. Assessment of two endemic rock phosphate solubilizing *Streptomyces* spp. on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth under field conditions. *Scientia Horticulturae*. 2023;(316):112033. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112033>
17. Al-Tammar F.K., Khalifa A.Y. An update about plant growth promoting *Streptomyces* species. *J. Appl. Biol. Biotechnol*. 2023:1-10. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.130126>
18. Prastiti R.D., Indrawan A.D., Mujoko P.S.T., Widjajani B.W. Survivability and Benefit Evaluation of *Streptomyces* sp. and *Trichoderma* sp. as Active Ingredients of Biopesticides and Soil Fertility Enhancer in Shallot Fields at Wates Village Tulungagung. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2023;(1131):012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1131/1/012011>
19. Маградзе Е.И., Кузнецова В.А. Влияние биоудобрения, полученного на основе молочной сыворотки, и содержащего *Streptomyces coelicolor*, на развитие рассады петунии. *Проблемы агрохимии и экологии*. 2023;(4):17-21. <https://doi.org/10.26178/AE.2023.77.19.004> <https://elibrary.ru/ihzhaf>
20. Гланц С. Медико-биологическая статистика. Пер. с англ. М., Практика, 1998. 459 с.
21. Лакин Г.Ф. Биометрия. М., Высшая школа, 1990. 352 с.
22. Виноградова К.А., Филиппова С.Н., Полин А.Н. Морфогенез, программируемая клеточная смерть и антибиотикообразование у стрептомицетов в условиях погруженного роста. *Антибиотики и антибиотикотерапия*. 2017;62(7-8):56-68. <https://elibrary.ru/ynzesn>
5. Potetnya K.M. The impact of chemical fertilizers on the environment. *Scientific and technical bulletin: technical systems in agriculture*. 2022;3-4(15-16):42-47. (In Russ.) <https://elibrary.ru/crepec>
6. Potetnya K.M. Soil nutritional stress as a consequence of the use of unproportionate rates of chemical fertilizers. *Scientific and technical bulletin: technical systems in agriculture*. 2023;1(17):35-43. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ijxgrh>
7. Ammar E.E., Rady H.A., Khattab A.M., Amer, M.H., Mohamed, S.A., Elodamy, N.I., Al Farga A., A Aioub A.A. A comprehensive overview of eco-friendly bio-fertilizers extracted from living organisms. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30(53):113119-113137. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-30260-x>
8. Khan A., Singh A.V., Gautam S.S., Agarwal A., Punetha A., Upadhayay V.K., Kukreti B., Bundela V., Jurgan A.K., Goel R. Microbial bioformulation: a microbial assisted biostimulating fertilization technique for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*. 2023;(14):1270039. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1270039>
9. Kaari M., Manikkam R., Annamalai K.K., Joseph J. Actinobacteria as a source of biofertilizer/biocontrol agents for bio-organic agriculture. *Journal of Applied Microbiology*. 2023;(134). <https://doi.org/10.1093/jambio/ixac047>
10. Nazari M.T., Schommer V.A., Braun J.C.A., dos Santos L.F., Lopes S.T., Simon V., Machado B.S., Ferrari V., Colla L.M., Piccin J.S. Using *Streptomyces* spp. as plant growth promoters and biocontrol agents. *Rhizosphere*. 2023;(27):100741. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100741>.
11. Olanrewaju O.S., Babalola O.O. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019;(103):1179–1188. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09577-y>
12. Oumaima B., Faouzi E. *Streptomyces* at the heart of several sectors to support practical and sustainable applications: a review. *Progress In Microbes & Molecular Biology*. 2023;6(1). <https://doi.org/10.36877/pmmb.a0000345>
13. Youseif S.H., El-Megeed F.H.A., Salous M.S., Mohamed A.H. *Streptomyces* biostimulants: an effective sustainable approach to reduce inorganic N input and maintain high yield of wheat crop in different soil types. *Journal of Applied Microbiology*. 2023;134(8):156. <https://doi.org/10.1093/jambio/ixad156>
14. Orouji E., Baba M.F.G., Sadeghi, A., Gharanjik S., Koobaz P. Specific *Streptomyces* strain enhances the growth, defensive mechanism, and fruit quality of cucumber by minimizing its fertilizer consumption. *BMC Plant Biol*. 2023;(23):246. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04259-y>
15. Shirokikh I.G., Nazarova Ya.I., Bakulina A.V., Abubakirova R.I. New *Streptomyces* strains as promising biofungicides. *Theoretical and Applied Ecology*. 2021;(1):172-180. (In Russ.) <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-172-1801> <https://elibrary.ru/suhxy>
16. Aallam Y., Dhiba D, El Rasafi T., Abbas Y., Haddioui A., Tarkka M., Hamdali H. Assessment of two endemic rock phosphate solubilizing *Streptomyces* spp. on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) growth under field conditions. *Scientia Horticulturae*. 2023;(316):112033. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112033>
17. Al-Tammar F.K., Khalifa A.Y. An update about plant growth promoting *Streptomyces* species. *J. Appl. Biol. Biotechnol*. 2023:1-10. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.130126>
18. Prastiti R.D., Indrawan A.D., Mujoko P.S.T., Widjajani B.W. Survivability and Benefit Evaluation of *Streptomyces* sp. and *Trichoderma* sp. as Active Ingredients of Biopesticides and Soil Fertility Enhancer in Shallot Fields at Wates Village Tulungagung. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*. 2023;(1131):012011. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1131/1/012011>
19. Magradze E.I., Kuznetsova V.A. The effect of a whey-based biofertilizer containing *Streptomyces coelicolor* on the cultivation of *Petunia grandiflora* seedlings. *Agrochemistry and ecology problems*. 2023;(4):17-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.26178/AE.2023.77.19.004> <https://elibrary.ru/ihzhaf>
20. Glanz S. Medical and biological statistics. Translated from English. Moscow, Praktika, 1998. 459 p. (In Russ.)
21. Lakin G.F. Biometrics. Moscow, Vysshaya shkola, 1990. 352 p. (In Russ.)
22. Vinogradova K.A., Filipova S.N., Polin A.N. Morphogenesis, programmed cell death and antibiotic formation in *Streptomyces* under conditions of submerged growth. *Antibiotics and Chemotherapy*. 2017;62(7-8):56-68. (In Russ.) <https://elibrary.ru/ynzesn>

• References

1. Shahwar D., Mushtaq Z., Mushtaq H., Alqarawi A.A., Younghoon Park Y., Alshahran T.S., Faizan S. Role of microbial inoculants as bio fertilizers for improving crop productivity: a review. *Heliyon*. 2023;9(6):e16134. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16134>
2. Yadav A., Yadav K. Challenges and Opportunities in Biofertilizer Commercialization. *SVOA Microbiology*. 2024;5(1):1-14. <https://doi.org/10.58624/SVOAMB.2024.05.037>
3. Santos F., Melkani S., Oliveira Paiva C., Bini D., Pavuluri K., Gatiboni L., Mahmud A., Torres M. Eric McLamore E., Bhadha J.H. Biofertilizer use in the United States: definition, regulation, and prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2024;108(1):511. <https://doi.org/10.1007/s00253-024-13347-4>
4. Wei X., Xie B., Wan C., Song R., Zhong W., Xin S., Song K. Enhancing soil health and plant growth through microbial fertilizers: mechanisms, benefits, and sustainable agricultural practices. *Agronomy*. 2024;(14):609. <https://doi.org/10.3390/agronomy14030609>

Об авторе:

Елена Ильинична Маградзе – аспирант, ст. преподаватель каф. ботаники, зоологии и биоэкологии Института естественных наук, <https://orcid.org/0009-0000-6531-3516>, SPIN-код: 1220-1713, автор для переписки, elena.magradze@gmail.com

About the Author:

Elena I. Magradze – Postgraduate Student, Senior Lecturer of the Department of Botany, Zoology and Biocology of the Institute of Natural Sciences of the Udmurt Republic State University, <https://orcid.org/0009-0000-6531-3516>, SPIN-code: 1220-1713, Corresponding Author, elena.magradze@gmail.com