

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66>ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ СЕМЕЙСТВА *BACILLACEAE* ПРОТИВ ВОЗБУДИТЕЛЕЙ
ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ СОИ

Научная статья

Овсянкина С.В.^{1,*}, Хижняк С.В.², Аболенцева П.А.³¹ ORCID : 0000-0003-2184-6104;² ORCID : 0000-0003-2583-8857;³ ORCID : 0000-0002-1831-5911;^{1,2,3} Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (sofi-kras[at]mail.ru)

Аннотация

Цель работы – изучить антибиотическую активность представителей семейства Bacillaceae в отношении актуальных для Красноярского края возбудителей грибных болезней сои. В качестве представителей семейства Bacillaceae использованы 22 штамма *Bacillus altitudinis*, *B. atrophaeus*, *B. cereus*, *B. megaterium*, *B. simplex*, *B. subtilis*, *Peribacillus simplex* и *Bacillus sp.*, выделенные нами из сельскохозяйственных почв региона. В качестве тест-культур использованы 2 изолята *Alternaria sp.*, 2 изолята *Fusarium sp.* и 1 изолят *Sclerotinia sclerotiorum*, выделенные из поражённых заболеваниями растений сои. Проверку антибиотической активности проводили методом встречных культур. В качестве показателя использовали площадь колоний тест-культуры в присутствии штамма-антагониста в % к контрольному варианту (без антагониста). Установлено, что антибиотическая активность изученных штаммов варьирует от отсутствия антагонизма (площадь колонии тест-культуры не отличается от контрольного варианта) до почти полного подавления тест-культуры (площадь колонии 5,4% от контроля) в зависимости от штамма-антагониста и от тест-культуры. Двухфакторный дисперсионный анализ подтвердил статистическую значимость ($p < 0,001$) влияния факторов «Штамм-антагонист», «Тест-культура» и эффекта взаимодействия факторов «Штамм-антагонист» x «Тест-культура» на антибиотическую активность с показателями силы влияния соответственно 57,33%, 15,87% и 26,16%. Корреляционный анализ с последующим факторным анализом матрицы корреляций показал, что изучаемые штаммы продуцируют не менее двух независимых антигрибных фактора. Первый фактор активен в отношении представителей родов *Alternaria* и *Fusarium*, второй – в отношении *Sclerotinia sclerotiorum*. На основании полученных результатов для защиты сои от грибных болезней предложена комбинация штаммов *Bacillus atrophaeus* CX6 и Pa2 *Bacillus sp.*

Ключевые слова: соя, грибные болезни, *Alternaria*, *Fusarium*, *Sclerotinia sclerotiorum*, биологическая защита, Bacillaceae.

THE EFFECTIVENESS OF MEMBERS OF THE FAMILY *BACILLACEAE* AGAINST SOYBEAN FUNGAL
PATHOGENS

Research article

Ovsyankina S.V.^{1,*}, Khizhnyak S.V.², Abolentseva P.A.³¹ ORCID : 0000-0003-2184-6104;² ORCID : 0000-0003-2583-8857;³ ORCID : 0000-0002-1831-5911;^{1,2,3} Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russian Federation

* Corresponding author (sofi-kras[at]mail.ru)

Abstract

The aim of the work was to study the antibiotic activity of representatives of the Bacillaceae family against pathogens of fungal diseases of soybean that are relevant for the Krasnoyarsk Territory. As representatives of the Bacillaceae family, we used 22 strains of *Bacillus altitudinis*, *B. atrophaeus*, *B. cereus*, *B. megaterium*, *B. simplex*, *B. subtilis*, *Peribacillus simplex* and *Bacillus sp.*, isolated by us from agricultural soils of the region. As test cultures, we used 2 isolates of *Alternaria sp.*, 2 isolates of *Fusarium sp.* and 1 isolate of *Sclerotinia sclerotiorum*, isolated from soybean plants affected by diseases. The antibiotic activity was tested using the opposite culture method. The area of colonies of the test culture in the presence of the antagonist strain in % of the control variant (without the antagonist) was used as an indicator. It was found that the antibiotic activity of the studied strains varied from the absence of antagonism (the colony area of the test culture did not differ from the control variant) to almost complete suppression of the test culture (the colony area was 5.4% of the control) depending on the antagonist strain and the test culture. Two-factor analysis of variance confirmed the statistical significance ($p < 0.001$) of the influence of the factors "Strain-antagonist", "Test culture" and the effect of the interaction of the factors "Strain-antagonist" x "Test culture" on the antibiotic activity with the effect sizes of 57.33%, 15.87% and 26.16%, respectively. Correlation analysis with subsequent factor analysis of the correlation matrix showed that the studied strains produce at least two independent antifungal factors. The first factor is active against representatives of the genera *Alternaria* and *Fusarium*, the second – against *Sclerotinia sclerotiorum*. Based on the obtained results, a combination of *Bacillus atrophaeus* CX6 and Pa2 *Bacillus sp.* strains was proposed to protect soybeans from fungal diseases.

Keywords: soybean, fungal diseases, *Alternaria*, *Fusarium*, *Sclerotinia sclerotiorum*, biological control, Bacillaceae.

Введение

Сою выращивают по всему миру, ведущими странами являются США, Аргентина, Бразилия, Индия. Мировое производство сои с каждым годом увеличивается [1], [2]. В России также наблюдается ежегодное увеличение посевных площадей под соей, что свидетельствует о растущем интересе к данной культуре. Так, согласно данным Росстат, только за последние пять лет (2020-2024 г.г.) посевные площади под этой культурой выросли в 1,5 раза, достигнув в 2024 г. 4,3 млн. га. [3].

По результатам мониторинга, проведённого в 2023 г., и охватившего 64,6% посевной площади под соей, на 13,8% обследованных площадей были распространены заболевания, наиболее вредоносными из которых были грибные болезни: септориоз (возбудитель – *Septoria glycines*), аскохитоз (возбудитель – *Ascochyta sojaecola*), пероноспороз (возбудитель – *Peronospora manshurica*) и фузариоз (возбудители – комплекс грибов р. *Fusarium*), а также бактериоз [4].

Несмотря на то, что основную долю рынка средств защиты растений от грибных болезней в России и за рубежом занимают химические фунгициды, в последние десятилетия во всём мире наблюдается устойчивая тенденция к внедрению в систему защитных мероприятий биофунгицидов, представляющих собой препараты на основе живых микроорганизмов и/или их метаболитов. Данные препараты являются относительно дешёвыми и (в отличие от химических фунгицидов) экологически безопасными. Однако широкое внедрение биофунгицидов тормозится нехваткой эффективных штаммов, особенно – адаптированных к почвенно-климатическим условиям конкретных регионов.

Текущий (на 18.09.2024 г.) перечень биологических препаратов, согласно Государственному каталогу пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации, включает всего 9 фунгицидов на основе бактерий р. *Bacillus*, р. *Pseudomonas* и грибов р. *Trichoderma*. Данные препараты направлены на предотвращение развития таких болезней как церкоспороз, пероноспороз, фузариозные корневые гнили, фузариозное увядание, антракноз, аскохитоз, фузариоз, плесневение семян, альтернариоз при слабом развитии болезни [5]. В связи с этим поиск новых агентов для разработки биопрепаратов для защиты посевов сои от грибных болезней является актуальной задачей.

Цель исследования – изучить антибиотическую активность представителей семейства *Bacillaceae* в отношении актуальных для Красноярского края возбудителей грибных болезней сои.

Объекты и методы

В работе изучали антибиотическую активность 22 штаммов-антагонистов, выделенных из почв Красноярского края (*Bacillus altitudinis*, *B. atrophaeus*, *B. cereus*, *B. megaterium*, *B. simplex*, *B. subtilis*, *Peribacillus simplex* и *Bacillus* sp.) в отношении возбудителей грибных болезней сои. Один из штаммов (RSA 1 (B-13893) *B. atrophaeus*) ранее был запатентован авторами в качестве основы для биопрепарата против грибных болезней сои (Патент на изобретение RU 2791332 C1 07.03.2023), остальные штаммы на антагонизм против возбудителей болезней сои не тестировались. В качестве тест-культур использовали 2 изолята *Alternaria* sp. (Alt C20, Alt C24), 2 изолята *Fusarium* sp. (Fus C7, Fus C15) и 1 изолят *Sclerotinia sclerotiorum* (Scler C16). Идентификацию бактерий проводили методами MALDI-TOF масс-спектрометрии, по нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК; идентификацию грибов проводили по характеру спороншения и совокупности других культурально-морфологических признаков.

Проверку антибиотического действия изучаемых штаммов на тест-культуры проводили стандартным методом двойных культур в чашках Петри [6], [7]. Питательной средой служила среда №2 ГРМ ФБУН ГНЦ ПМБ половинной концентрации [8], контролем служили чашки Петри с тест-культурами без антагонистов (рис. 1). Чашки с посевами инкубировали в течение 10 суток при температуре 25 ± 1 °С, после чего измеряли площадь колоний тест-культур в присутствии изучаемых штаммов и выражали её в % от контроля.

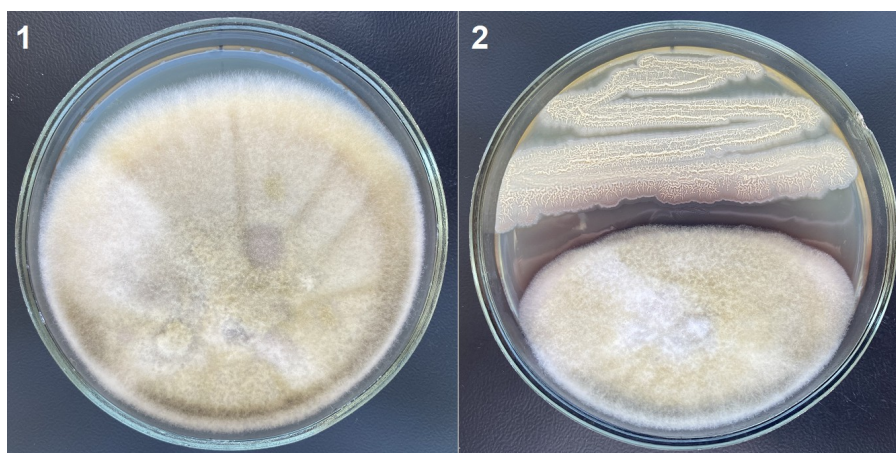


Рисунок 1 - Метод встречных культур на примере Alt C20:

1 – рост тест-культуры в контроле; 2 – рост тест-культуры в присутствии штамма CX5

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.1>

Измерение площади колоний проводили по фотографиям с помощью программы ImageJ. Для оценки статистической значимости и показателей силы влияния факторов «штамм-антагонист» и «тест-культура гриба» использовали двухфакторный дисперсионный анализ. После выполнения дисперсионного анализа проводили попарную оценку статистической значимости различий между индивидуальными средними с помощью тестов Шеффе и Тьюки [9]. Однотипность реакции тест-культур на набор изучаемых штаммов оценивали по коэффициенту корреляции Пирсона с последующим анализом корреляционной матрицы с помощью факторного анализа. В качестве программного обеспечения для дисперсионного, корреляционного и факторного анализа использовали StatSoft, Inc. (2007) STATISTICA version 8.0.

Результаты и их обсуждение

Зафиксированный в эксперименте антибиотический эффект штаммов-антагонистов варьировал от практически полного подавления роста тест-культуры до отсутствия антибиотического воздействия (табл. 1, рис. 2, 3).

Таблица 1 - Усреднённые по трём повторностям площади колоний тест-культур в присутствии изучаемых штаммов-антагонистов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.2>

| Штамм, таксономическая принадлежность | Площади колоний тест-культур (в % к контролю) | | | | |
|--|---|---------|--------|---------|-----------|
| | Alt C20 | Alt C24 | Fus C7 | Fus C15 | Scler C16 |
| Pa1, <i>Bacillus thuringiensis</i> | 44,4 | 57,6 | 51,1 | 55,4 | 39,2 |
| Pa2, <i>Bacillus sp.</i> | 48,6 | 39,6 | 62,3 | 75,9 | 5,4 |
| Pa3, <i>Bacillus sp.</i> | 31,9 | 24,5 | 45,8 | 64,4 | 44,9 |
| RSA1, (B-13893), <i>Bacillus atrophaeus</i> | 30,1 | 15,0 | 15,8 | 57,6 | 60,7 |
| RSA11, <i>Bacillus subtilis/ Bacillus atrophaeus</i> | 28,4 | 40,2 | 49,9 | 53,3 | 43,6 |
| RSA12, <i>Peribacillus simplex</i> | 82,3 | 90,5 | 100,0 | 100,0 | 90,2 |
| RSA15, <i>Bacillus simplex</i> | 51,3 | 39,7 | 56,0 | 59,1 | 47,1 |
| RSA16(1), <i>Bacillus atrophaeus</i> | 39,7 | 33,2 | 51,6 | 56,7 | 33,1 |
| RSA16(2), <i>Bacillus atrophaeus</i> | 35,3 | 37,1 | 34,9 | 48,5 | 38,5 |
| RSA17, <i>Bacillus cereus group/ Bacillus subtilis</i> | 42,9 | 39,1 | 50,8 | 55,1 | 51,0 |
| RSA18, <i>Bacillus atrophaeus</i> | 47,7 | 39,7 | 56,1 | 55,2 | 52,1 |
| RSA19, <i>Bacillus atrophaeus</i> | 39,4 | 39,5 | 46,7 | 51,4 | 37,0 |
| RSA2, <i>Bacillus</i> | 35,2 | 50,8 | 59,4 | 85,9 | 34,0 |

| Штамм, таксономичес | Площади колоний тест-культур (в % к контролю) | | | | |
|---------------------------------------|---|---------|--------|---------|-----------|
| | Alt C20 | Alt C24 | Fus C7 | Fus C15 | Scler C16 |
| <i>altitudinis</i> | | | | | |
| RSA20(1), <i>Bacillus subtilis</i> | 42,5 | 38,7 | 50,5 | 53,8 | 54,7 |
| RSA20(2), <i>Bacillus subtilis</i> | 29,1 | 41,9 | 44,1 | 47,8 | 17,6 |
| RSA4, <i>Bacillus megaterium</i> | 81,2 | 57,8 | 100,0 | 100,0 | 55,7 |
| RSA8, <i>Bacillus atrophaeus</i> | 46,5 | 36,5 | 45,3 | 52,3 | 10,9 |
| RSA9, <i>Bacillus atrophaeus</i> | 47,4 | 38,7 | 44,9 | 52,7 | 49,0 |
| АЛ3, <i>Bacillus atrophaeus</i> | 43,4 | 33,9 | 46,6 | 55,2 | 32,2 |
| АЛ4, <i>Bacillus sp.</i> | 39,5 | 36,6 | 48,6 | 46,9 | 54,6 |
| CX5, <i>Bacillus cereus</i> | 49,2 | 46,2 | 33,1 | 51,8 | 65,6 |
| CX6, <i>Bacillus atrophaeus</i> | 7,2 | 15,2 | 38,0 | 40,3 | 6,2 |

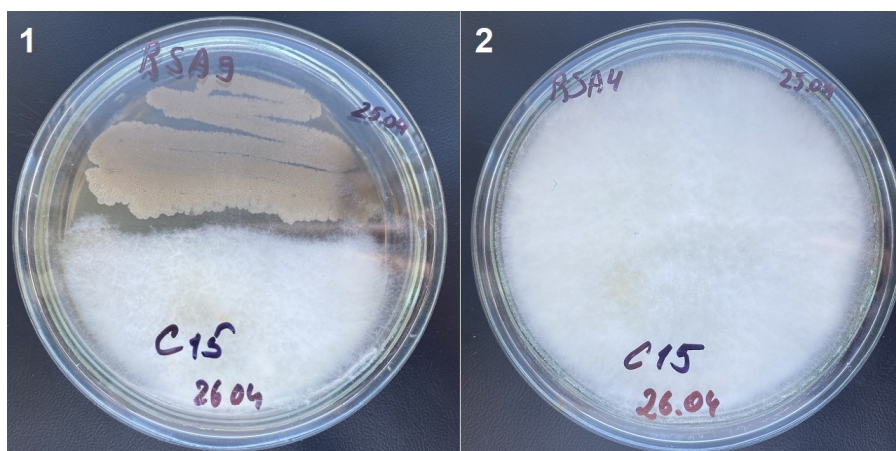


Рисунок 2 - Пример зависимости антибиотического эффекта от штамма-антагониста при использовании одной и той же тест-культуры (Fus C15):

1 – штамм RSA9, подавление роста тест-культуры ярко выражено; 2 – штамм RSA4, подавление роста тест-культуры отсутствует

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.3>

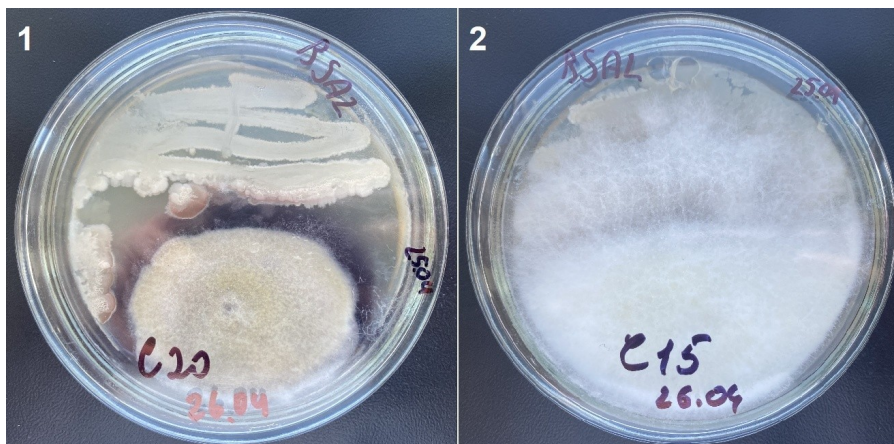


Рисунок 3 - Пример зависимости антибиотического эффекта от тест-культуры при использовании одного и того же штамма-антагониста (RSA2):

1 – тест-культура Alt C20, подавление роста тест-культуры ярко выражено; 2 – тест-культура Fus C15, подавление роста тест-культуры выражено слабо

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.4>

Дисперсионный анализ показал статистически значимое влияние факторов «штамм-антагонист» ($p < 0,001$, показатель силы влияния 57,33%) и «тест-культура гриба» ($p < 0,001$, показатель силы влияния 15,87%), а также взаимодействия этих факторов ($p < 0,001$, показатель силы влияния 26,16%) на подавление роста тест-культуры.

В среднем по тест-культурам максимальный антибиотический эффект проявил штамм СХ6, минимальный – штамм RSA12 (рис. 4).

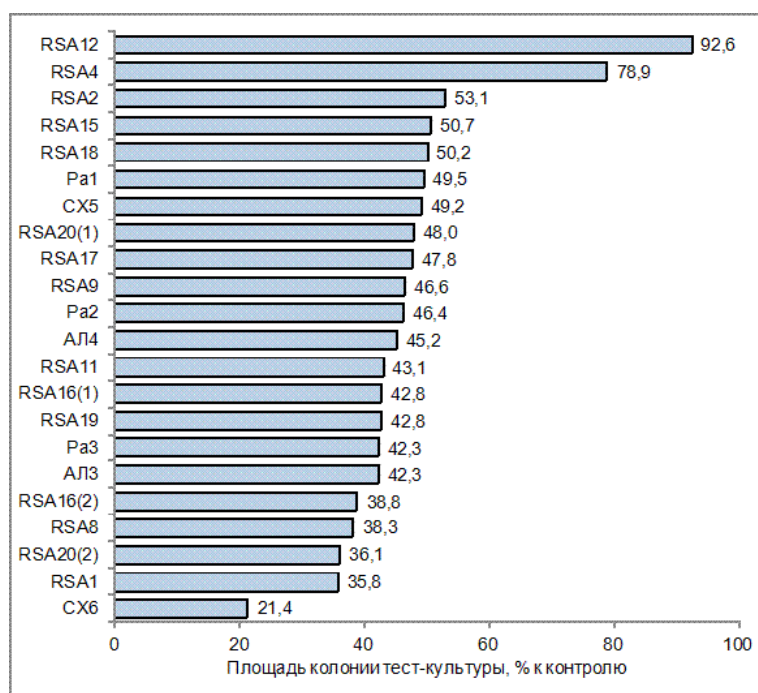


Рисунок 4 - Антибиотический эффект изучаемых штаммов в среднем по тест-культурам

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.5>

В среднем по изучаемым штаммам максимальную чувствительность к их антибиотическому действию проявил изолят р. *Alternaria* Alt C24, минимальную – изолят р. *Fusarium* Fus C15 (рис. 5)

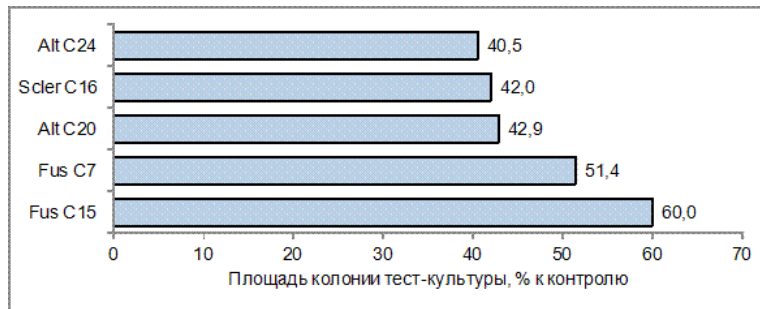


Рисунок 5 - Площадь колоний тест-культур в % к контролю в присутствии антагонистов с усреднением по штаммам
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.6>

Результаты попарного сравнения тест-культур по средней чувствительности к набору изученных антагонистов представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 - Статистическая значимость попарных различий между тест-культурами по средней чувствительности к набору изученных штаммов-антагонистов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.7>

| Тест-культура | Alt C20 | Alt C24 | Fus C7 | Fus C15 |
|---------------|---------|---------|--------|---------|
| Alt C20 | - | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Alt C24 | <0,001 | - | <0,001 | <0,001 |
| Fus C7 | <0,001 | <0,001 | - | <0,001 |
| Fus C15 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | - |
| Scler C16 | нет | 0,001 | <0,001 | <0,001 |

Примечание: тест Шеффе

Таблица 3 - Статистическая значимость попарных различий между тест-культурами по средней чувствительности к набору изученных штаммов-антагонистов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.8>

| Тест-культура | Alt C20 | Alt C24 | Fus C7 | Fus C15 |
|---------------|---------|---------|--------|---------|
| Alt C20 | - | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Alt C24 | <0,001 | - | <0,001 | <0,001 |
| Fus C7 | <0,001 | <0,001 | - | <0,001 |
| Fus C15 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | - |
| Scler C16 | <0,05 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |

Примечание: тест Тьюки

Между тест-культурами выявлены статистически значимые положительные корреляции по чувствительности к изучаемым штаммам-антагонистам. Особенно высокая корреляция ($r = 0,832$) наблюдалась между Fus C7 и Fus C15. В то же время чувствительность Scler C16 к изучаемым штаммам относительно слабо коррелировала с чувствительностью Alt C20 и Alt C24, и практически не коррелировала с чувствительностью Fus C7 и Fus C15 (табл. 4).

Таблица 4 - Коэффициенты корреляции Пирсона между тест-культурами по чувствительности к антибиотическому действию изучаемых штаммов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.9>

| Тест-культура | Alt C20 | Alt C24 | Fus C7 | Fus C15 | Scler C16 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Alt C20 | 1,000 | 0,786 | 0,796 | 0,739 | 0,561 |
| Alt C24 | 0,786 | 1,000 | 0,787 | 0,679 | 0,495 |

| Тест-культура | Alt C20 | Alt C24 | Fus C7 | Fus C15 | Scler C16 |
|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------|
| Fus C7 | 0,796 | 0,787 | 1,000 | 0,832 | 0,304 |
| Fus C15 | 0,739 | 0,679 | 0,832 | 1,000 | 0,366 |
| Scler C16 | 0,561 | 0,495 | 0,304 | 0,366 | 1,000 |

Примечание: коэффициенты корреляции, статистически значимые на уровне $p < 0,05$, выделены жирным шрифтом

Факторный анализ показал, что наблюдаемое (см. табл. 1) варьирование тест-культур по чувствительности к антибиотическому действию изучаемых штаммов на 87,8% определяется действием двух главных факторов (рис. 6, табл. 5).

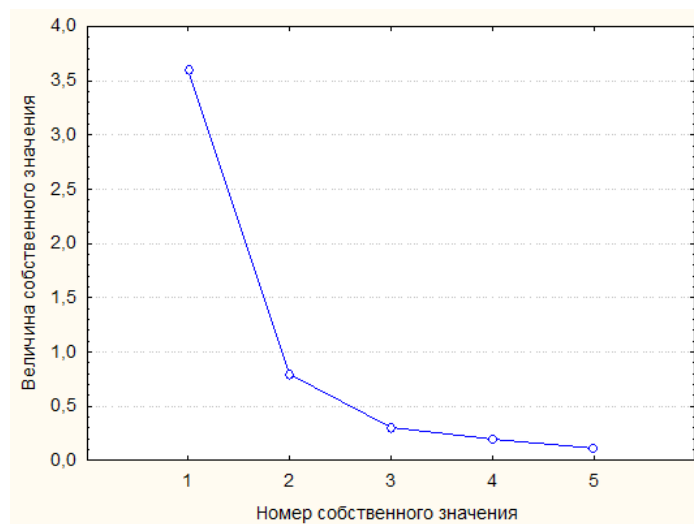


Рисунок 6 - Диаграмма величин собственных значений матрицы коэффициентов корреляции, представленной в таблице 4

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.10>

Таблица 5 - Главные факторы, выделенные при анализе представленной в таблице 4 матрицы коэффициентов корреляции

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.11>

| Тест-культура | Без вращения | | Варимаксное вращение | |
|----------------------|---------------|---------------|----------------------|--------------|
| | Фактор 1 | Фактор 2 | Фактор 1 | Фактор 2 |
| Alt C20 | -0,926 | -0,056 | 0,799 | 0,472 |
| Alt C24 | -0,896 | 0,003 | 0,799 | 0,406 |
| Fus C7 | -0,904 | 0,328 | 0,955 | 0,120 |
| Fus C15 | -0,872 | 0,255 | 0,892 | 0,170 |
| Scler C16 | -0,599 | -0,785 | 0,176 | 0,972 |
| Собственное значение | 3,597 | 0,792 | 3,015 | 1,375 |
| % вариации | 71,9 | 15,8 | 60,3 | 27,5 |

Примечание: факторные нагрузки больше 0,70 выделены жирным шрифтом

Результаты факторного анализа можно интерпретировать как наличие у изучаемых штаммов как минимум двух антибиотических соединений, различающихся спектром антифунгального действия. Первое соединение (Фактор 1) активно в отношении Alt C20, Alt C24, Fus C7 и Fus C15, второе соединение (Фактор 2) активно в отношении Scler C16. При этом ни один из изученных штаммов-антагонистов не оказался максимально эффективным одновременно по обоим факторам (рис. 7). Это ведёт к необходимости при разработке биопрепаратов для борьбы с возбудителями грибных болезней сои использовать комплексные препараты на основе нескольких штаммов-антагонистов, различающихся по спектру антифунгального действия. Данный вывод хорошо согласуется с результатами ранее

проведённых нами аналогичных исследований, в которых изучали антибиотическую активность штаммов-антагонистов сем. *Bacillaceae* в отношении возбудителей грибных болезней рапса [10].

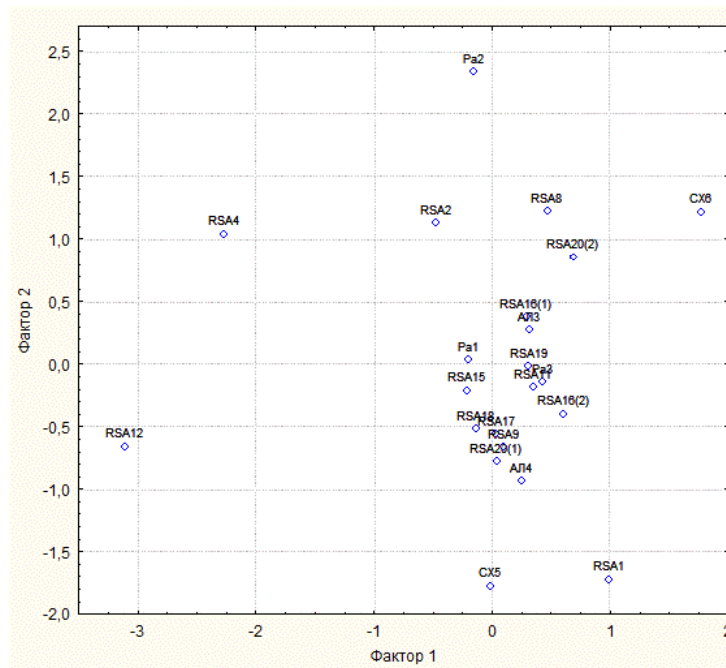


Рисунок 7 - Проекция штаммов-антагонистов на оси, представляющие Фактор 1 и Фактор 2
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.153.66.12>

Примечание: см. табл. 5, без вращения

Заключение

Проверка антибиотической активности 22 штаммов *Bacillus altitudinis*, *B. atropheus*, *B. cereus*, *B. megaterium*, *B. simplex*, *B. subtilis*, *Peribacillus simplex* и *Bacillus* sp., выделенных из почв Красноярского края, в отношении актуальных для региона возбудителей грибных болезней сои р.р. *Alternaria* и *Fusarium*, а также *Sclerotinia sclerotiorum*, показала, что эта активность статистически значимо зависит как от штамма бактерий, так и от таксономического положения возбудителя. В среднем по штаммам-антагонистам максимальную чувствительность к их антибиотическому действию проявил изолят *Sclerotinia sclerotiorum*, минимальную – представители р. *Fusarium*. Среди штаммов-антагонистов максимальную антифунгальную активность в среднем по изолятам фитопатогенных грибов проявил штамм *Bacillus atropheus* CX6. В то же время спектр чувствительности фитопатогенных грибов к штаммам-антагонистам, равно как и спектр антифунгальной активности антагонистов, различается. Это подтверждается наличием статистически значимого эффекта взаимодействия факторов «штамм-антагонист» и «тест-культура гриба». Корреляционный анализ с последующим факторным анализом матрицы корреляций показал, что изучаемые штаммы продуцируют как минимум два антигрибных антибиотика, различающихся спектром действия. При этом интенсивность продуцирования этих антибиотиков у разных штаммов различается. В этой связи для защиты сои от грибных болезней необходимо использовать комбинации штаммов, различающихся по спектру антифунгальной активности. На основании результатов нашего исследования, для почвенно-климатических условий Красноярского края можно рекомендовать комбинацию штаммов *Bacillus atropheus* CX6 и Pa2 *Bacillus* sp.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Voora V. Global market report: Soybeans / V. Voora, C. Larrea, S. Bermudez. — 2020.
2. Дорохов А.С. Обзор мирового рынка сои / А.С. Дорохов, О.В. Евдокимова, К.К. Большева // Инновации в сельском хозяйстве. — 2018. — № 4 (29). — С. 237–246.

3. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). — URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 24.11.24).
4. Обзор фитосанитарного состояния посевов сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2023 году и прогноз развития вредных объектов в 2024 году / Министерство сельского хозяйства РФ. — Москва, 2024. — URL: <https://rosselhocenter.ru/upload/iblock/2f5/5k7pj112muj411l6x7itquxc1vlg61ph/2023-2024.pdf> (дата обращения: 24.11.24).
5. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации по состоянию на 18 сентября 2024 г. — URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/> (дата обращения: 24.11.24).
6. Kim W.G. In vitro antagonistic characteristics of bacilli isolates against *Trichoderma* spp. and three species of mushrooms / W.G. Kim, H.Y. Weon, S.J. Seok [et al.] // *Mycobiology*. — 2008. — Vol. 36. — №. 4. — P. 266–269.
7. Ali S. Functional characterization of potential PGPR exhibiting broad-spectrum antifungal activity / S. Ali, S. Hameed, M. Shahid [et al.] // *Microbiological Research*. — 2020. — № 232. — P. 126389.
8. Родовиков С.А. Почвенные микробные сообщества как источник штаммов для биологической защиты сои от фузариоза в Приенисейской Сибири / С.А. Родовиков, А.А. Чураков, Н.М. Попова [и др.] // *Вестник Нижневартковского государственного университета*. — 2020. — № 2. — С. 4–11. — DOI: 10.36906/2311-4444/20-2/01.
9. Midway S. Comparing multiple comparisons: practical guidance for choosing the best multiple comparisons test / S. Midway, M. Robertson, S. Flinn [et al.] // *Bioinformatics and Genomics*. — 2020. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33335808/> (accessed: 24.11.24). — DOI: 10.7717/peerj.10387.
10. Хижняк С.В. Многомерные статистические методы как инструмент при выборе штаммов-антагонистов для биологической защиты растений от болезней / С.В. Хижняк, П.А. Аболнцева, С.В. Овсянкина [и др.] // *Вестник КрасГАУ*. — 2024. — № 4. — С. 36–45. — DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-36-45.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Voora V. Global market report: Soybeans / V. Voora, C. Larrea, S. Bermudez. — 2020.
2. Dorohov A.S. Obzor mirovogo rynka soi [Review of the world soybean market] / A.S. Dorohov, O.V. Evdokiomva, K.K. Bol'sheva // *Innovacii v sel'skom hozjajstve* [Innovations in agriculture]. — 2018. — № 4 (29). — P. 237–246. [in Russian]
3. Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat) [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. — URL: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed: 24.11.24). [in Russian]
4. Obzor fitosanitarnogo sostojanija posevov sel'skohozjajstvennyh kul'tur v Rossijskoj Federacii v 2023 godu i prognoz razvitiija vrednyh ob'ektov v 2024 godu [Review of the phytosanitary state of agricultural crops in the Russian Federation in 2023 and forecast for the development of harmful objects in 2024] / Ministerstvo sel'skogo hozjajstva RF [Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. — Moscow, 2024. — URL: <https://rosselhocenter.ru/upload/iblock/2f5/5k7pj112muj411l6x7itquxc1vlg61ph/2023-2024.pdf> (accessed: 24.11.24). [in Russian]
5. Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimiakatov, razreshennyh k primeneniju na territorii Rossijskoj Federacii po sostojaniju na 18 sentjabrja 2024 g [State catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation as of September 18, 2024]. — URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rastenievodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industry-information/info-gosudarstvennaya-usluga-po-gosudarstvennoy-registratsii-pestitsidov-i-agrokhimikatov/> (accessed: 24.11.24). [in Russian]
6. Kim W.G. In vitro antagonistic characteristics of bacilli isolates against *Trichoderma* spp. and three species of mushrooms / W.G. Kim, H.Y. Weon, S.J. Seok [et al.] // *Mycobiology*. — 2008. — Vol. 36. — №. 4. — P. 266–269.
7. Ali S. Functional characterization of potential PGPR exhibiting broad-spectrum antifungal activity / S. Ali, S. Hameed, M. Shahid [et al.] // *Microbiological Research*. — 2020. — № 232. — P. 126389.
8. Rodovikov S.A. Pochvennye mikrobnye soobshhestva kak istochnik shtammov dlja biologicheskoi zashchity soi ot fuzarioza v Prienisejskoj Sibiri [Soil microbial communities as a source of strains for biological protection of soybeans from fusarium blight in the Yenisei Siberia] / S.A. Rodovikov, A.A. Churakov, N.M. Popova [et al.] // *Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Nizhnevartovsk State University]. — 2020. — № 2. — P. 4–11. — DOI: 10.36906/2311-4444/20-2/01. [in Russian]
9. Midway S. Comparing multiple comparisons: practical guidance for choosing the best multiple comparisons test / S. Midway, M. Robertson, S. Flinn [et al.] // *Bioinformatics and Genomics*. — 2020. — URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33335808/> (accessed: 24.11.24). — DOI: 10.7717/peerj.10387.
10. Hizhnjak S.V. Mnogomernye statisticheskie metody kak instrument pri vybore shtammov-antagonistov dlja biologicheskoi zashchity rastenij ot boleznej [Multivariate statistical methods as a tool for selecting antagonist strains for biological protection of plants from diseases] / S.V. Hizhnjak, P.A. Abolenceva, S.V. Ovsjankina [et al.] // *Vestnik KrasGAU* [Bulletin of KrasGAU]. — 2024. — № 4. — P. 36–45. — DOI: 10.36718/1819-4036-2024-4-36-45. [in Russian]