УДК 579.64:635.6:631.461 DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.20

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ЮЖНОГО В АГРОЦЕНОЗЕ ГОРОХА СТЕПНОЙ ЗОНЫ КРЫМА

Т.В. Горгулько, С.В. Дидович, к.с.-х.н.,
ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»
295043, Россия, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, д.150,
тел./факс: +7978-261-15-18, t.gorgulko@gmail.com

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации № FNZW-2022-0004

Представлены результаты трехлетних исследований (2023–2025 г.) по оценке влияния комплексного микробного препарата (КМП) на биологическую активность чернозема южного в ризосфере гороха посевного. Исследования проводились в степной зоне Крыма в отделении полевых культур ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма». В технологии возделывания гороха с применением прямого посева (No-till) оценивали влияние обработки семян гороха (Pisum sativum L.) *комплексным микробным препаратом (КМП), содержащим штаммы с азотфиксирующей, фосфатмобилизующей и биопротекторной активностью, на биологическую активность почвы. Установлено, что применение КМП существенно изменяет структуру микробного сообщества. В среднем за три года инокуляция семян комплексным микробиологическим препаратом способствовала росту численности амилолитиков (в 1,2 раза), педотрофов (в 2,5 раза) и целлюлозолитических микроорганизмов (в 1,5 раза) по сравнению с контролем. Бактеризация КМП повысила коэффициент минерализации почти в 5 раз и увеличила эмиссию* CO_2 *на 12,5%, что свидетельствует об ускорении микробиологических процессов. Показано, что обработка КМП в среднем за три года увеличила урожайность на 29,4 %, массу 1000 семян на 2,9 г, содержание белка на 1,2%.*

Ключевые слова: микроорганизмы, биологическая активность, ризосфера, чернозём южный, прямой посев, горох посевной.

Для цитирования: *Горгулько Т.В., Дидович С.В.* Биологическая активность чернозема южного в агроценозе гороха степной зоны Крыма// Плодородие. – 2026. - №5. – С. 102-108. DOI: 10.25680/S19948603.2026.152.20.

Развитие агропромышленного комплекса связано с необходимостью сохранения продовольственной безопасности в условиях антропогенной нагрузки на земельные ресурсы, что требует разработки и внедрения инновационных агротехнологий [7]. Здоровье почвы определяется комплексом ее природных и биологических свойств, является основой продуктивности и устойчивости агроэкосистем. Непосредственно от структуры и экологических функций микробиоценоза (численности, разнообразия, физиологической активности микроорганизмов) сильно зависит биологическая активность почвы, которая является фундаментальной основой ее плодородия [16]. Использование бобовых культур, таких как горох, является ключевым элементом устойчивых севооборотов [8, 12]. Благодаря способности к симбиотической фиксации атмосферного азота в симбиозе с клубеньковыми бактериями, горох не только обеспечивает себя этим элементом, но и обогащает им почву. Кроме того, он оставляет после себя органические остатки, способствующие пополнению питательных веществ для последующих культур [11]. Включение гороха в севообороты содействует диверсификации корневых экссудатов и органического вещества, что является мощным фактором формирования структуры и функции почвенной микробиоты.

В качестве инструмента минимизации антропогенного воздействия на почву широко изучается технология прямого посева (No-till), предполагающая отказ от механической обработки и сохранение растительных остатков на поверхности поля [2]. Долгосрочное применение прямого посева способствует стабилизации почвенной среды, накоплению органического углерода и формированию специфических микробных сообществ [4]. Исследования показывают, что сидераты, особенно их смеси, в технологиях с прямым посевом дополнительно усиливают активность микробов и их разнообразие, улучшая общее состояние почвы: биоразнообразие почвенных организмов, содержание органического углерода, улучшение структуры почвы [5]. Технология прямого посева и применение микробных препаратов при выращивании гороха требуют дальнейшего изучения. Особенно важно понять, как эти методы влияют на функциональные группы микроорганизмов, которые играют ключевую роль в трансформации органического вещества и круговороте элементов. Также необходимо исследовать их влияние на ферментативную активность почвы [10]. Анализ этих взаимосвязей важен для совершенствования агротехнологий, которые способствуют сохранению высокой биологической активности почвы, увеличению её плодородия и поддержанию стабильной урожайности гороха.

Цель исследований – оценить влияние комплексного микробного препарата (КМП) на биологическую активность чернозема южного в ризосфере гороха.

Методика. Полевые исследования проводили в условиях стационарного пятипольного севооборота в 2023–2025 г. на опытном поле отделения интродукции и технологий в полеводстве и животноводстве Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма (с. Клепинино, Красногвардейский район), расположенном в центральной части степного Крыма (38 м над уровнем моря), которая характеризуется засушливым климатом и

дефицитом почвенной и воздушной влаги. Горох выращивали с применением ресурсосберегающей технологии – прямого посева (ПП). Повторность – трёхкратная. Севообороты размещены в шахматном порядке в два яруса. Чередование культур в севообороте: 1 – горох; 2 – озимая пшеница; 3 – лён; 4 – озимый ячмень; 5 – сорго. Размер делянки – 150 м^2 (6 м х 25 м).

Почва экспериментального участка - чернозем южный слабогумусированный. Мощность гумусового горизонта 24–36 см, всего – 57–70 см. Содержание гумуса в пахотном слое 2,4–2,7 %. В 100 г абсолютно сухой почвы пахотного слоя содержится 5,2 мг легкогидролизуемого азота, 1,0–2,5 подвижного фосфора, 42 мг подвижного калия (по Мачигину) [13]. Реакция почвенного раствора в верхнем слое слабощелочная (pH 7,7–7,9).

Погодные условия в период выращивания гороха в условиях 2023–2025 г. были разными для роста и развития растений. В среднем за три года исследований (2023–2025) агрометеорологические условия вегетационного периода гороха характеризовались неустойчивостью и значительной контрастностью, при этом в целом наблюдалась тенденция к повышенному температурному фону и дефициту влагообеспеченности. Средняя температура воздуха за период «посев – уборка» за три года составила 16,3°С, что на 2,4°С выше среднемноголетней нормы. Суммарное количество осадков достигало в среднем 113,2 мм, или 68,2 % от нормы, что свидетельствует о преобладании засушливых тенденций (рис.1).

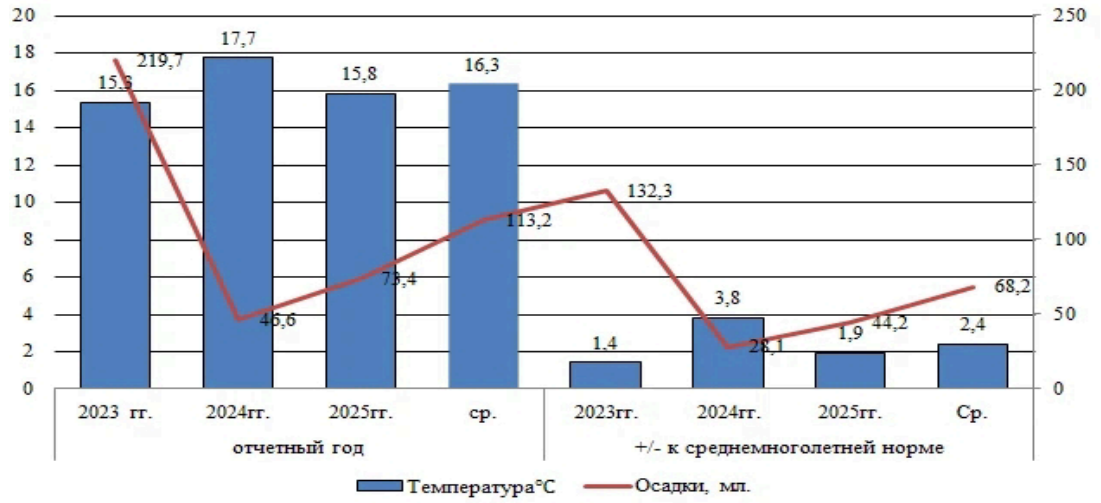


Рис. 1. Погодно-климатические условия в период проведения исследований (с. Клепинино, Красногвардейский район, Республика Крым)

Наиболее благоприятным по влагообеспеченности и температурному режиму был 2023 г., в котором при умеренном превышении температуры на 1,4°С осадки составляли 132,3 % нормы, а их распределение, несмотря на неравномерность, обеспечило дружные всходы, хорошее развитие растений и реализацию продуктивного потенциала культуры. В 2024 и 2025 г. условия вегетации резко ухудшились: оба года характеризовались экстремально высокими температурами (превышение нормы на 3,8 и 1,9 °С соответственно) и острым дефицитом осадков, которые составляли лишь 28,1 и 44,2 % от нормы.

Весенние периоды 2024 и 2025 г. сопровождались интенсивной почвенной и атмосферной засухой, пересыханием пахотного слоя, низкой относительной влажностью воздуха, а также майскими заморозками, достигавшими на почве -8 °С. Такие стрессовые факторы привели к сокращению периода вегетации, ускорению прохождения фаз органогенеза, формированию низкорослых растений и снижению продуктивности гороха. Таким образом, в среднем за три года погодные условия для гороха сложились как умеренно-неблагоприятные с усилением засушливости и теплообеспеченности во второй и третий годы исследований.

В ходе эксперимента семена перед высевом обрабатывали жидким комплексным микробным препаратом. В его состав входят три промышленно значимых штамма микроорганизмов с разной функциональной способностью из Крымской коллекции микроорганизмов: *Rhizobium leguminosarum* У-1 – высокоэффективный симбиотический азотфиксатор для гороха; *Lelliottia nimipressuralis 32-3* – фосфатмобилизатор, способный переводить труднодоступные фосфаты в доступные для растений формы и обладающий фитогормональной активностью; *Paenibacillus polymyxa* П 13НК – штамм, характеризующийся биопротекторной функцией и способностью подавлять рост фитопатогенных грибов и бактерий. Контрольные образцы семян обрабатывали водой. Сравнительный анализ проводили между вариантами, где КМП не применялся (контроль), и вариантами, где на фоне тех же приёмов обработки почвы (прямого посева) использовалась бактеризация.

Отбор почвенных проб проводили по общепринятой методике в интенсивную фазу развития гороха – цветение [9]. Среднюю пробу каждого образца (массой 300-500 г) из ризосферы 5 растений из пахотного слоя (20-30 см) отбирали в трех повторностях. Образцы ризосферной почвы извлекали с поверхности в корневой зоне 2–5 мм. Почвенные образцы упаковывали в пергаментные пакеты, затем в лабораторных условиях просеивали через сито с размером ячеек 1,0–1,5 мм для удаления крупных частиц и корневых остатков.

Для определения обилия микроорганизмов различных эколого-трофических групп применяли метод глубинного посева из почвенной суспензии (1 г почвы на 100 мл стерильной очищенной воды) на питательные среды: МПА (для аммонифицирующих бактерий, которые способны утилизировать органические соединения азота), КАА (амилолитиков – микроорганизмов, потребляющих азот в минеральной форме, и актинобактерий),

среда Виноградского (для учета численности азотфиксаторов), среда Чапека (для культивирования мицеллиальных грибов), среда Гетчинсона с фильтровальной бумагой (целлюлозоразрушающие бактерии), голодный агар (олиготрофы), почвенный агар (для олиготрофных микроорганизмов), почвенный агар (для педотрофов) и среда Эшби для определения количества *Azotobacter sp.*. Для микробиологического посева использовали ряд десятикратных разведений. Результаты представляли в колониеобразующих единицах (КОЕ) на 1 г почвы [14].

Рассчитывали индекс олиготрофности, коэффициенты, характеризующие минерализационную активность, олигонитрофильность и педотрофность микробного сообщества, а также показатели ферментативной активности почвы [15]. Статистическую обработку результатов проводили с использованием программ Microsoft Excel 2007 и пакета Statistica 10[3].

Результаты и их обсуждение. Анализ численности микроорганизмов основных эколого-трофических групп, показателей интенсивности микробиологических процессов и ферментативной активности чернозема южного в ризосфере гороха позволил определить закономерности формирования микробоценоза чернозема южного ризосферы гороха под влиянием микробного препарата и прямого посева в фазе активного роста гороха – цветение.

В 2023 г. количество аммонификаторов в контрольном варианте было на 97% выше, чем в варианте с бактеризацией семян КМП (табл. 1). В 2024 г. в контрольном варианте существенно увеличилось количество данной эколого-трофической группы, что в 10 раз превысило показатель с применением КМП, в контрольном варианте 2025 г., численность данной группы была выше на 69%, чем при инокуляции семян КМП. В среднем за три года количество аммонификаторов в контрольном варианте было в 3,5 раза выше в сравнении с КМП.

1. Численность основных физиологических групп микроорганизмов в ризосфере гороха в фазе цветения, млн КОЕ/г а.с.п.

Вариант опыта	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Среднее за 2023–2025 г.
Аммонифицирующие микроорганизмы				
Контроль	7,1±0,54	14,8±0,09	4,4±0,20	8,76
КМП	3,6±0,33	1,4±0,03	2,6±0,09	2,56
Амилолитики				
Контроль	10,5±1,47	15,2±0,46	0,4±0,01	8,69
КМП	22,3±0,96	8,9±0,09	0,3±0,06	10,48
Олиготрофные микроорганизмы				
Контроль	0,7±0,03	0,2±0,001	0,7±0,06	0,53
КМП	0,6±0,03	0,3±0,001	0,6±0,04	0,48
Педотрофные микроорганизмы				
Контроль	4,9±0,38	1,7±0,15	2,5±0,21	3,02
КМП	15,8±0,69	2,6±0,07	3,8±0,09	7,39

В 2023 г. обилие амилолитиков выросло в 2,1 раза, а педотрофов — в 3,2 раза в варианте с бактеризацией семян КМП. В 2024 г. численность амилолитиков в варианте с КМП была на 41% ниже контроля, а в засушливом 2025 г. оба варианта показали низкие значения. Средняя численность амилолитиков и педотрофов в варианте с применением КМП превысила контроль в 1,2 и 2,5 раза соответственно. За годы исследований не выявлено существенной разницы в количестве олиготрофов между вариантами, в 2024 г. численность данной группы микроорганизмов снижалась в сравнении с 2025 г. на 0,5 млн КОЕ/г а.с.п. (71%) в контрольном варианте и на 0,3 млн КОЕ/г а.с.п. (50%) в варианте с применением КМП.

В контрольном варианте доля *Azotobacter* увеличивалась с 26,7% в 2023 г. до 68,0% в 2025 г., достигнув среднего значения 51,1%. В варианте с КМП наблюдалась обратная тенденция: доля *Azotobacter* снизилась с максимальных 65,3% в 2023 г. до 30,7% в 2025 г. и в среднем составила 48,0%. Объясняется такая динамика, возможно, изменением климатических условий и применением КМП. Известно, что микроорганизмы рода *Azotobacter* являются важными свободноживущими азотфиксирующими бактериями, активность которых зависит от почвенных условий и конкуренции с другими микроорганизмами. В варианте КМП их доля снизилась из-за более благоприятных условий для анаэробных азотфиксаторов. В контрольных условиях бактерии рода *Azotobacter* сохранили или увеличили свою долю благодаря возможности использования корневых экссудатов растений.

Установлено, что бактеризация комплексным микробным препаратом не оказывала существенного влияния на общую численность азотфиксирующих микроорганизмов. Средние многолетние результаты показали тенденцию к снижению их численности. В варианте с бактеризацией семян КМП количество данной эколого-трофической группы составило в среднем за годы исследования 4,2 млн КОЕ/г а.с.п., что находилось на уровне контроля (4,5 млн КОЕ/г а.с.п.).

Численность микромицетов изменялась по годам так: в 2023 и 2024 годах на контроле их количество снижалось на 8,6 и 10,2 тыс. КОЕ /г а.с.п. (в 1,5 и 2,8 раза) в сравнении с применением КМП. В 2025 г. на контроле их численность возросла до 77,0 тыс. КОЕ /г а.с.п., в варианте с КМП составила 23,9 тыс. КОЕ /г а.с.п., что в 3,2 раза ниже контроля. Применение КМП привело к снижению микромицетов в среднем за три года исследований в 1,5 раза (11,4 тыс. КОЕ/г а.с.п.) в сравнении с контролем. Численность целлюлозолитических микроорганизмов имела тенденцию к росту с 0,3 тыс. КОЕ /г а.с.п. в 2023 г. до 2,8 тыс. КОЕ /г а.с.п. в 2025 г., что может указывать на естественные условия для улучшения деструкции целлюлозы. Применение КМП привело к снижению численности целлюлозолитических микроорганизмов в 2023 и 2025 г. в 4,6 и 1,7 раза соответственно (2,5 и 1,3 тыс. КОЕ /г а.с.п.) в сравнении с 2024 г.

В среднем за три года исследований количество микроорганизмов данной эколого-трофической группы в варианте с применением КМП (1,9 тыс. КОЕ /г а.с.п.) в 1,5 раза превышало контроль (1,3 тыс. КОЕ /г а.с.п.), что может указывать на положительный эффект препарата.

Анализ микробиологических показателей за годы исследований показал существенное влияние КМП на трансформацию органического вещества и структуру микробного сообщества почвы (рис. 2). Коэффициент минерализации в контрольном варианте снижался с 1,50 в 2023 г. до 0,10 в 2025 г., инокуляция семян КМП обеспечила высокие значения данного коэффициента (6,20) в 2023-2024 г. исследований с последующим снижением до 0,12 в 2025 г. В среднем за три года исследований использование КМП значительно увеличило коэффициент минерализации (4,17) по сравнению с контрольным образцом (0,87), что указывает на истощение легкодоступных субстратов и изменение условий минерализации.

В годы исследования индекс олиготрофности, отражающий долю микроорганизмов, потребляющих рассеянные органические вещества, в варианте с применением КМП возрастал и оставался значительно выше контроля. За три года эксперимента использование КМП

существенно повысило индекс педотрофности более чем в 5 раз (контроль - 0,47), а индекс олигонитрофильности - в 2 раза (контроль - 0,66), что указывает на стимуляцию микробиологических процессов и ускорение трансформации органического вещества под воздействием микробиологического препарата.

Индикатором биологического состояния почвы и ее способности к самоочищению является ферментативная активность почвы, которая отражает интенсивность протекающих в ней биохимических процессов и за счет каталитической деятельности почвенных ферментов характеризует активность разложения, синтеза органических остатков и гумуса.

Данные графика (рис. 3) показывают тенденцию к снижению в среднем за три года исследований активности как общей, так и термолабильной каталазы: для общей на 3,6 мл O_2 за минуту/г а.с.п. (16,1%), для термолабильной каталазы на 1,5 мл O_2 за минуту/г а.с.п. (6,3%) по сравнению с вариантом с КМП. Высокая активность каталаз наблюдалась в 2024 г. в варианте с применением КМП, для общей каталазы (35,6 мл O_2 за минуту/ г а.с.п.) в сравнении с контролем (9,0 мл O_2 за минуту/ г а.с.п., (25,3%). В 2025 г. по двум показателям не выявлено статистически значимых различий между вариантами, однако отмечалась тенденция к их увеличению.

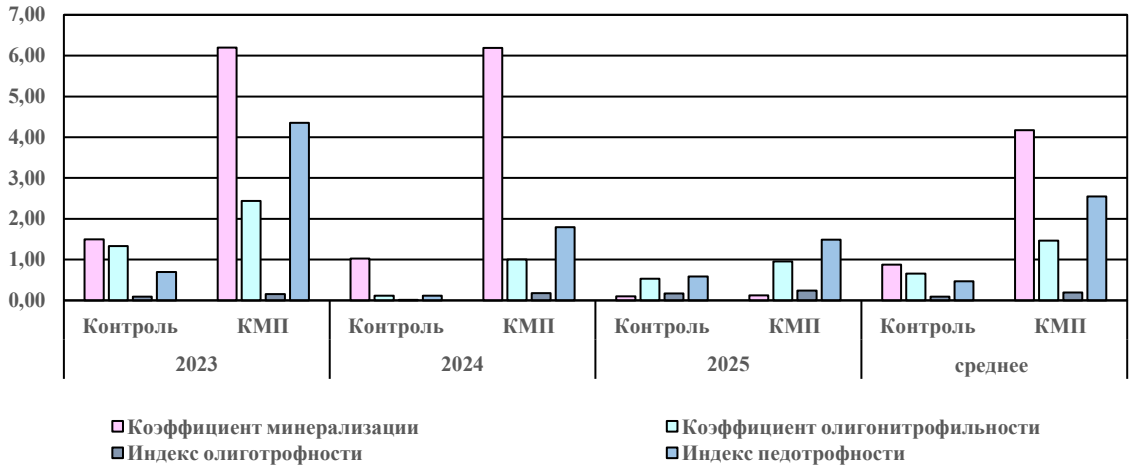


Рис. 2. Влияние КМП на интенсивность минерализационных процессов в ризосфере гороха в фазе цветения

Данные указывают на тенденцию к снижению эмиссии диоксида углерода в контрольном варианте на 12,5% (с 0,27 до 0,24 мг/г а.с.п. в сутки) по сравнению с вариантом, где применяли КМП (рис. 4). В 2024 г. в контрольном варианте данный показатель снижался в 3,6 раза относительно варианта с применением КМП. В 2023 и 2025 г. различия между вариантами были минимальными и находились в пределах ошибки опыта, в 2023 г. отмечено максимальное за весь период значение эмиссии на контроле (0,56 мг/г а.с.п.).

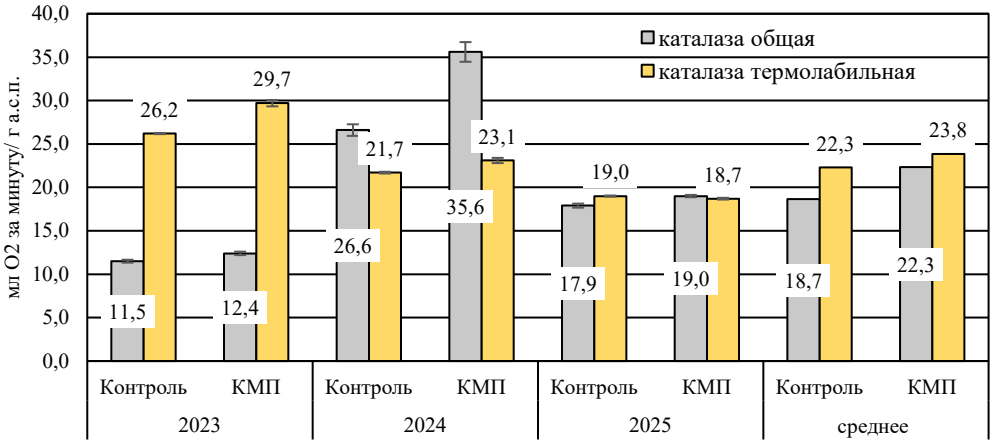


Рис. 3. Влияние КМП на ферментативную активность в ризосфере гороха в фазе цветения

В среднем за три года результаты исследований показали тенденцию к снижению активности пероксидаз в контрольном варианте на 1,3 мкмоль гваякола/г почвы (5,8%) относительно варианта с КМП (табл. 2). В 2023 и 2024 г. активность данного фермента в варианте с КМП превышала контрольные показатели на 14,2% (1,8 мкмоль гваякола/г почвы) и 24,4% (5,8 мкмоль гваякола/г почвы) соответственно. В 2025 г. отмечено снижение активности пероксидаз в варианте с бактеризацией КМП на 10,9% (3,4 мкмоль гваякола/г почвы) относительно контроля.

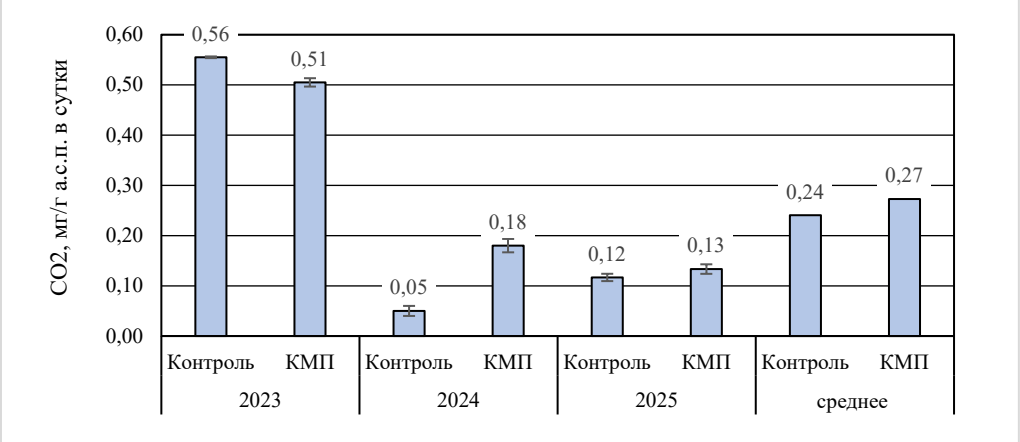


Рис. 4. Влияние КМП на эмиссию диоксида углерода в ризосфере гороха в фазе цветения

2. Влияние КМП на ферментативную активность в ризосфере гороха в фазе цветения

Год	Вариант опыта	Активность пероксидаз, мкмоль гваякола/г почвы	Активность полифенолоксидаз, мл KJO_3/100 г а.с.п.	Условный коэффициент гумификации
2023	Контроль	12,7 ± 0,003	48,3 ± 0,29	3,8
	КМП	14,5 ± 0,003	41,4 ± 1,04	2,9
2024	Контроль	23,8 ± 0,87	28,8 ± 3,00	1,2
	КМП	29,6 ± 0,03	22,7 ± 0,75	0,8
2025	Контроль	31,2 ± 0,83	21,6 ± 0,69	0,7
	КМП	27,8 ± 1,47	22,0 ± 0,12	0,8
Среднее за три года	Контроль	22,6	32,9	1,5
	КМП	23,9	28,7	1,2

В среднем за три года активность полифенолоксидаз (ПФО) на контроле была выше на 14,6%, чем в варианте с применением КМП. Существенное различие между вариантами отмечено в 2023 г., активность полифенолоксидаз на контроле была на 16,7% выше, чем в варианте с КМП. В 2025 г. существенных различий в активности полифенолоксидаз между вариантами не выявлено. Таким образом, снижение активности пероксидаз и полифенолоксидаз в 2023-2025 г. может свидетельствовать о завершении активной фазы трансформации органического вещества и переходе почвы к более стабильному состоянию.

Для интегральной оценки направленности процессов трансформации органического вещества в почве рассчитывали условный коэффициент гумификации (табл. 2) - отношение активности полифенолоксидазы к активности пероксидазы (ПФО/ПО). Увеличение данного коэффициента указывает на преобладание процессов синтеза гумусовых веществ, тогда как его снижение свидетельствует об усилении минерализационных процессов [1].

Полученные данные показали, что в среднем за три года эксперимента коэффициент гумификации в контрольном варианте превысил показатель варианта с КМП. Данная тенденция может свидетельствовать о более выраженной направленности процессов на контроле в сторону гумусообразования. В 2023 г. отмечено максимальное значение коэффициента. Это говорит о том, что в варианте с КМП процессы минерализации преобладали над процессами гумификации более существенно, чем на контроле. Коэффициент гумификации в 2024 г. на контроле снизился, как и в варианте с КМП. Минимальные значения выявлены в 2025 г. Снижение коэффициента к концу периода наблюдений обусловлено, главным образом, значительным ростом активности пероксидазы, участвующей в разложении гумусовых соединений. Различия между вариантами стали несущественными к 2025 г., что может свидетельствовать о стабилизации почвенных процессов.

Также была оценена биологическая активность почв по шкале [15]. Результаты показали, что биологическая активность ризосферы гороха, анализируемая по ферментативной активности полифенолоксидазы и пероксидазы, изменялась как под влиянием применения КМП, так и по годам исследований (табл. 3). Активность полифенолоксидазы в 2023 г. была очень высокой в обоих вариантах и на контроле, и при внесении КМП. В 2024–2025 г. наблюдался спад активности ПФО до среднего уровня, на контроле среднее многолетнее значение составило высокий уровень, тогда как в варианте с КМП она осталась на среднем уровне. Такие изменения могут зависеть от неблагоприятных погодных условий и изменений микробного сообщества в сторону усиления минерализации органического вещества. Активность пероксидазы имела тенденцию к нарастанию: в 2023 г. в обоих вариантах она была средней, в 2024 г. повысилась до высокой, а в 2025 г. на контроле стала очень высокой, тогда как в варианте с КМП осталась невысокой. В среднем за три года активность пероксидазы в обоих вариантах оценивается как высокая. Возможно, такие показатели активности пероксидазы свидетельствуют об усилении процессов разложения органического вещества и интенсификации минерализации, что отражает активизацию окислительно-восстановительных реакций в почве.

3. Биологическая активность ризосферы гороха по ферментативной активности в фазе цветения (в среднем за 2023-2025 г.)

Вариант опыта	По шкале В.И. Титовой, А.В. Козлова		По шкале Э.И. Гапонюк и С.В. Малахова	
Контроль	Активность ПФО, мл KJO_3/100 г а.с.п.	++	Эмиссия CO_2, мг/г а.с.п. в сутки	+++
КМП		++		++
Контроль	Активность ПО, мкмоль $C_7H_8O_2$/ г а.с.п.	+++	Активность каталазы общая, мл O_2 за минуту/ г а.с.п.	+++
КМП		+++		+++

Примечание. Биологическая активность: «++» – средняя; «+++» – высокая.

Согласно [6], одним из наиболее информативных показателей биологической активности почвы является эмиссия диоксида углерода. В наших исследованиях интенсивность почвенного дыхания, оцененная в фазе цветения по шкале Э.И. Гапонюк и С.В. Малахова, за весь период наблюдений и в обоих изучаемых вариантах опыта сохранялась на очень слабом уровне. Это указывает на низкую интенсивность дыхания почвенной биоты и корневых систем в связи с засушливой погодой и ограниченной доступностью легкодоступных органических субстратов в ризосфере гороха.

На протяжении всех трех лет значение биологической активности каталаз в контрольном варианте было стабильно высоким. В варианте с применением КМП активность каталаз была высокой в 2023 и 2025 г., в 2024 г. наблюдалось ее повышение до очень высокой, что в целом обеспечило сохранение высокого среднемноголетнего уровня в данном варианте. Это можно объяснить сохранением высокой окислительно-восстановительной активности почвенной биоты, что свидетельствует о её устойчивости к стрессовым условиям и способности обеспечивать эффективную детоксикацию перекисных соединений даже при дефиците влаги.

Оценка урожайности гороха за 2023-2025 г. показала её зависимость от погодных условий вегетационного периода. В самом благоприятном по влагообеспеченности 2023 г. урожайность при бактеризации семян комплексным микробным препаратом (КМП) была на 47,7 % выше контроля (табл. 4). В 2024 г., характеризовавшемся острым дефицитом осадков, на контроле составила 0,73 т/га, в варианте с КМП получена достоверная прибавка урожайности 0,11 т/га (15,1 %). В 2025 г., также засушливом, урожайность на контроле и в варианте с КМП оказалась минимальной. Это связано с совокупным действием почвенной и атмосферной засухи, возвратными заморозками и ускоренным прохождением фаз развития. За три года в контрольном варианте урожайность снизилась на 0,2 т/га (29,4 %) в сравнении с бактеризацией КМП.

4. Влияние технологии возделывания прямого посева и инокуляции семян КМП на продуктивность гороха

Вариант опыта	Масса 1000 семян, г				Содержание белка, %				Урожайность, т/га			
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Ср.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Ср.	2023 г.	2024 г.	2025 г.	Ср.
Контроль	192	188,6	151	177,2	26,01	29,0	28,1	27,7	1,07	0,73	0,23	0,68
КМП	197	190,2	153	180,1	26,60	30,5	29,5	28,9	1,58	0,84	0,22	0,88
$НСР_{05}$	21,8	3,10	14,0	12,9	3,24	1,46	1,03	1,91	0,13	0,04	0,10	0,09

Масса 1000 семян, как интегральный показатель условий налива зерна, также изменялась по годам в соответствии с погодными условиями. Максимальные значения отмечены в 2023 г. В 2024 г. этот показатель снизился, а в самом засушливом 2025 г. был ещё ниже. За три года обработка семян КМП способствовала повышению массы 1000 семян на 2,9 г по сравнению с контролем, что указывает на стабилизирующее влияние препарата на процессы формирования зерна в неблагоприятных условиях.

Содержание белка в зерне возрастало в годы с неблагоприятными условиями увлажнения. В засушливые 2024 и 2025 г. содержание белка повысилось, особенно в варианте с КМП. Среднее содержание белка за трехлетний период в варианте с применением КМП превысило контроль на 1,2%. Повышение содержания белка в условиях недостатка влаги вызвано замедлением процессов накопления углеводов и относительным увеличением доли азотистых соединений, что характерно для стрессовых условий вегетации.

Выводы. На основании трёхлетних полевых исследований (2023–2025 г.) установлено, что использование комплексного микробного препарата при выращивании гороха на чернозёме южном в технологии прямого посева (No-till) способствует улучшению биологической активности почвы, структуры микробного сообщества ризосферы, активизирует минерализационные процессы, повышает урожайность и качественные показатели гороха.

В варианте с применением КМП в среднем за три года количество педотрофов увеличилось в 2,5 раза, целлюлозолитических микроорганизмов – в 1,5, амилолитиков – в 1,2 раза по сравнению с контролем.

Выявлено, что за три года исследований использование комплексного микробного препарата привело к возрастанию коэффициента минерализации почти в 5 раз (4,8), индекса педотрофности – более чем в 5 раз (5,4), индекса олигонитрофильности – в 2 раза (2,2) в сравнении с контрольными показателями. В среднем за три года в варианте с применением КМП активность общей каталазы увеличилась на 16,1%, пероксидазы – на 5,8, эмиссия диоксида углерода – на 12,5% по сравнению с контролем.

За три года исследования в условиях прямого посева установлено, что урожайность гороха зависела от климатических условий и обработки микробиологическим комплексным препаратом, применение которого в среднем за годы исследования повысило урожайность семян гороха на 0,20 т/га (29,4 %), увеличило массу 1000 семян на 2,9 г и содержание белка на 1,2% (до 28,9 %) в сравнении с контролем.

Литература

1. *Бойцова Л.В., Непримерова С.В., Зинчук Е.Г.* Ферментативная активность и стабилизация органического углерода в агродерново-подзолистой почве // Сельскохозяйственная биология. – 2023. – Т. 58, № 5. - С. 937-947. DOI: 10.15389/agrobiology.2023.5.937rus.
2. *Горгулько, Т.В.* Влияние Микробиоком-агро и различных технологий обработки почвы на микробоценоз ризосферы ячменя озимого / Т. В. Горгулько, С. В. Дидович, А. А. Гонгало // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов: Сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, Курск, 24–26 июня 2025 года. – Курск: Курский федеральный аграрный научный центр, 2025. – С. 241-245.
3. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
4. *Дридигер В.К., Гаджиумаров Р.Г., Джандаров А.Н., Котляров Д.В.* Влияние технологии No-till на содержание супрессивной и патогенной микрофлоры в почве // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2022. – Т. 52, № 4. – С. 5-12. DOI: 10.26898/0370-8799-2022-4-1.
5. *Дридигер В.К., Годунова Е.И., Гаджиумаров Р.Г., Перегудова Н.А.* Влияние технологии No-till на содержание питательных элементов в черноземе обыкновенном центрального Предкавказья // Земледелие. – 2023. – № 6. – С. 6-9. DOI: 10.24412/0044-3913-2023-6-6-9.
6. *Звягинцев Д.Г.* Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
7. *Иванов А.Л., Дридигер В.К., Белобров В.П., Годунова Е.И. и др.* Эффективность и почвозащитная роль системы прямого посева на черноземах России // Почвоведение. – 2025. – № 9. – С. 1225-1238. – DOI: 10.31857/S0032180X25090105.
8. *Коржов С.И., Солодовников А.П., Пимонов К.И., Несмеянова М.А.* Влияние бобовых культур на плодородие почвы и продуктивность

севооборотов // Агрохимический вестник. – 2022. – № 3. – С. 54-59. DOI: 10.24412/1029-2551-2022-3-010.
9. *Методы* почвенной микробиологии и биохимии/ Под ред Звягинцева. – М: МГУ, 1991. – 304 с.
10. *Милентьева И.С., Фотина Н.В., Жарко М.Ю., Проскурякова Л.А.* Перспективы использования микробных препаратов для снижения окислительного стресса сельскохозяйственных растений // Техника и технология пищевых производств. – 2022. – Т. 52, № 4. – С. 750-761. DOI: 10.21603/2074-9414-2022-4-2403.
11. *Семешкина П.С., Бородина Е.С.* Влияние бобовых культур и удобрений на продуктивность севооборотов и плодородие почвы // Аграрный вестник Урала. – 2023. – Т. 23, № 12. – С. 12-21. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-12-12-21.
12. *Солдат И.Е., Солнцев П.И., Шаповалов Н.К., Ишков В.Л.* Технология возделывания гороха в адаптивно-ландшафтной системе земледелия юго-западной части ЦЧР // Сахарная свекла. – 2021. – № 6. – С. 40-42. DOI: 10.25802/SB.2021.88.96.009.
13. *Половицкий И.Я., Гусев П.Г.* Почвы Крыма и повышение их плодородия. - Симферополь: Таврия, 1987. - 152 с.
14. *Теппер Е.З., Шильникова В.К., Переверзева Г.И.* Практикум по микробиологии. - М.: Дрофа, 2005. - 254 с.
15. *Титова В.И., Козлов А.В.* Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. - Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. - 64 с.
16. *Чернов Т.И., Семенов М.В.* Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор) // Почвоведение. – 2021. – № 12. – С. 1506-1522. DOI: 10.31857/S0032180X21120029.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF SOUTHERN CHERNOZEMS IN PEA AGROECOSYSTEMS IN THE STEPPE ZONE OF CRIMEA

T.V. Gorgulko, S.V. Didovich,
FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea" 150, Kievskaya str., Simferopol, Republic of Crimea, 295034, Russia;
E-mail: **t.gorgulko@gmail.com**, ***E-mail:*** **sv-alex.68@mail.ru**

The article presents the results of a three-year study (2023-2025) aimed at evaluating the effect of a complex microbial preparation (CMP) on the biological activity of Southern Chernozem in the rhizosphere of pea (Pisum sativum L.). The research was conducted in the Steppe zone of Crimea at the Department of Field Crops, a structural unit of the Research Institute of Agriculture of Crimea. In our experiments, we evaluated the effect of P. sativum seed treatment with the CMP, containing strains with nitrogen-fixing, phosphate-mobilizing and bioprotective activity, on the biological activity of the soil under direct seeding (no-till) cultivation technology. CMP application significantly altered the structure of the microbial community. On average over the three years of research, inoculation of seeds with the CMP contributed to an increase in the number of amylolytic, pedotrophic, and cellulolytic microorganisms by a factor of 1.2, 2.5, and 1.5, respectively, compared to the control. Furthermore, CMP application increased the mineralization coefficient nearly fivefold and raised CO_2 emissions by 12.5%, indicating an acceleration of microbiological processes. It was shown that, on average over three years of study, treatment with the CMP increased P. sativum yield by 29.4%, its 1000-seed weight by 2.9 g, and its protein content by 1.2%.
Keywords: microorganisms, biological activity, rhizosphere, chernozem southern, direct seeding, Pisum sativum L.