

Изменение функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и биодеструкторов

А. И. Якубовская[✉], А. Ю. Еговцева, И. А. Каменева, И. И. Смирнова,
М. В. Гритчин, А. О. Каменев

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия

[✉]E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru

Аннотация. Солома – ценный ресурс органического вещества, макро- (NPK) и микроэлементов. Обработка биопрепаратом рисовой соломы и заделка ее в почву рассматривается как важнейший элемент поддержания почвенного плодородия и устойчивого земледелия. **Цель** настоящего исследования – определить динамику изменения функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и комплекса микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов. Объектом исследования являлись численные показатели основных функциональных групп почвенных микроорганизмов (бактерии, потребляющие азот органических и минеральных соединений, олиготрофы, азотфиксаторы, нитрификаторы, актинобактерии, микромицеты, целлюлозолитики), биогенность, коэффициенты и индексы, характеризующие ориентированность минерализационно-иммобилизационных превращений. Закладка модельных опытов, отбор почвенных проб, микробиологический анализ осуществляли общепринятыми **методами**. **Результаты.** Обработка соломы риса комплексом микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов (КМП ЦМ) с последующей заделкой ее в почву способствовала увеличению численности органотрофной (на 85 % на 30-е сутки экспозиции и на 34 % к завершению опыта – 60 дней), олиготрофной (на 55 и 60 % соответственно на 15-й и 60-й день опыта) микробиоты по сравнению с контролем. Количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов в течение 30 дней эксперимента в 2 раза превышало вариант без обработки КМП ЦМ. Установлено, что при обработке растительных остатков КМП ЦМ увеличивается суммарная численность учтенных групп микроорганизмов в среднем на 26 % за время эксперимента. **Научная новизна.** Впервые изучена динамика изменения функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при интродукции комплекса микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов с соломой риса.

Ключевые слова: почвенные микроорганизмы; целлюлозолитическая ассоциация; индексы; биодеструкция; солома

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00481, <https://rscf.ru/project/25-26-00481/>

Для цитирования: Якубовская А. И., Еговцева А. Ю., Каменева И. А., Смирнова И. И., Гритчин М. В., Каменев А. О. Изменение функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и биодеструкторов // Аграрный вестник Урала. 2026. Т. 26, № 09. С. 1654–1665. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1654-1665>.

Дата поступления статьи: 06.03.2026, **дата рецензирования:** 10.04.2026, **дата принятия:** 02.06.2026.

Change in the functional structure of the microbial community of meadow-chernozem soil with the introduction of rice straw and biodestructors

A. I. Yakubovskaya✉, A. Yu. Egovtseva, I. A. Kameneva, I. I. Smirnova, M. V. Gritchin, A. O. Kamenev

Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia

✉E-mail: yakubovskaya_allya@mail.ru

Abstract. Straw is a valuable resource of organic matter, macro- (NPK), and microelements. Treatment of rice straw with a biopreparation and its incorporation into the soil is considered a crucial element in maintaining soil fertility and sustainable agriculture. **The purpose** of this study was to determine the dynamics of changes in the functional structure of the microbial community in meadow-chernozem soils after the addition of rice straw and a complex of microbial preparations containing cellulose-degrading microorganisms. The object of the study were numerical indices of the main functional groups of soil microorganisms (bacteria consuming nitrogen from organic and mineral compounds, oligotrophs, nitrogen fixers, nitrifiers, actinobacteria, micromycetes, cellulolytics), biogenicity, coefficients and indices characterizing the orientation of mineralization-immobilization transformations. The setup of model experiments, collection of soil samples, and microbiological analysis were carried out using generally accepted **methods. Results.** Treatment of rice straw with a complex of microbial preparations of cellulose-degrading microorganisms (CMP CM) followed by its incorporation into the soil contributed to an increase in the abundance of organotrophic (by 85 % on the 30th day of exposure and by 34 % by the end of the experiment – 60 days), oligotrophic (by 55 and 60 %, respectively, on the 15th and 60th days of the experiment) microbiota compared to the control. The number of cellulose-degrading microorganisms was twice as high as in the untreated variant with CMP CM over the 30-day experiment. The total number of microbial groups measured increased by an average of 26 % over the course of the experiment when plant residues were treated with CMP CM. **Scientific novelty.** For the first time, the dynamics of changes in the functional structure of the microbial community of meadow-chernozem soil was studied with the introduction of a complex of microbial preparations of cellulose-destroying microorganisms with rice straw.

Keywords: soil microorganisms; cellulolytic association; indexes; biodegradation; straw

Acknowledgments. This study was supported by grant No. 25-26-00481 from the Russian Science Foundation, <https://rscf.ru/project/25-26-00481/>

For citation: Yakubovskaya A. I., Egovtseva A. Yu., Kameneva I. A., Smirnova I. I., Gritchin M. V., Kamenev A. O. Change in the functional structure of the microbial community of meadow-chernozem soil with the introduction of rice straw and biodestructors. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2026; 26 (09): 1654–1665. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2026-26-09-1654-1665>. (In Russ.)

Date of paper submission: 06.03.2026, **date of review:** 10.04.2026, **date of acceptance:** 02.06.2026.

Постановка проблемы (Introduction)

Солома – ценный ресурс органического вещества, макро- (NPK) и микроэлементов [1; 2], и ее использование в агропромышленном производстве может являться альтернативным способом восполнения плодородия с частичной или полной заменой минеральных удобрений [3], оказывать благотворное влияние на почву: улучшать структуру, обогащать питательными веществами, способствуя росту урожайности сельскохозяйственных культур [4–6]. Несмотря на то что процесс синтеза доминирует над процессом минерализации гумуса, трансформация соломы происходит медленно, в связи с

чем ее положительное действие проявляется не сразу и в первый год после заделки соломы возможно снижение урожайности возделываемых культур [7].

Процесс разложения соломы носит поэтапный характер: разные группы микроорганизмов специализируются на расщеплении конкретных компонентов растительного сырья. Это приводит к последовательной смене доминирующих видов в микробном сообществе – его состав и функциональная активность существенно трансформируются на разных этапах деструкции соломы. В результате в процессе разложения фиксируется закономерная сукцессия микробных сообществ [8–11].

Такие факторы, как влажность [12], засоление [13], химический состав и размер измельченной соломы [14], влияют на ее доступность в качестве субстрата для микроорганизмов и тем самым регулируют скорость и характер разложения в почве.

Рисовая солома характеризуется высоким содержанием кремния и низким соотношением азота и углерода. Это делает ее малоприспособленной для кормовых целей и затрудняет микробную декомпозицию, особенно в условиях умеренного и засушливого климата [15]. Известно, что на 1 кг произведенного риса приходится до 1 кг пожнивных остатков, главным образом рисовой соломы [16], а интенсификация рисоводства влечет ее накопление. Следовательно, утилизация отходов рисоводства – ключевая проблема современного сельского хозяйства, актуальная и для России, и в мировом масштабе [17].

Для решения важной проблемы утилизации рисовой соломы перспективным способом представляется инокуляция послеуборочных остатков комплексом микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов (КМП ЦМ) с высокой целлюлозолитической активностью и другими полезными с точки зрения агрономии свойствами с последующей заделкой в почву. Такой прием позволяет создать высокую концентрацию полезных микроорганизмов, которые могут успешно конкурировать с аборигенной микробиотой, занимать определенные экологические ниши в агроэкосистеме и за счет синергии различных групп почвенных организмов ускорить декомпозицию органического материала, тем самым обеспечивать аккумуляцию органического вещества и других питательных элементов в почве [18–21].

Цель настоящего исследования – определить динамику изменения функциональной структуры микробного сообщества лугово-черноземной почвы при внесении рисовой соломы и комплекса микробных препаратов целлюлозоразрушающих микроорганизмов для активации процесса деструкции.

Методология и методы исследования (Methods)

Изменение функциональной структуры микробного сообщества исследовали в модельном опыте, в условиях крытой летней теплицы в прямоугольных сосудах (объемом 50 л) с 40 кг лугово-черноземной почвы из рисового чека (Краснодарского края), которая имеет следующие агрохимические характеристики: содержание гумуса в верхнем горизонте 3,6–3,2 %, гумус фульватно-гуматного типа, pH = 6,8...6,9, гранулометрический состав тяжелосуглинистый по всему профилю. Содержание физической глины в верхних горизонтах равно 54 %. На долю илистой фракции в пахотном горизонте приходится 29 % [22]. Планирование и постановка модельных экспериментов осуществлялись по Доспехову [23] в шестикратном повторении. Солому риса сорта Рапан-2 измельчали на лабора-

торной мельнице до 7–10 см и вносили по 400 г на сосуд с почвой, опрыскивали многокомпонентным микробным препаратом для деструкции растительных остатков (соломы, стерни, сидеральных культур), разработанным в ФГБУН «НИИСХ Крыма» на основе ассоциации микроорганизмов с высокой целлюлозолитической активностью и штаммов бактерий с комплексом полезных свойств из Крымской коллекции микроорганизмов (<http://www.ckp-rf.ru/usu/507484/>) и заделывали на глубину 3–7 см.

Схема модельного опыта предполагала следующие варианты:

- 1) контроль – внесение соломы без обработки;
- 2) обработка соломы КМП ЦМ, суспендированным в воде из расчета 1 л/га или 300 л/га рабочего раствора путем опрыскивания измельченной соломы.

Влажность почвы в сосудах поддерживали на уровне 60 %.

Образцы почвы (слой 0–7 см) отбирали до закладки опыта и через 15, 30, 45, 60 суток от начала эксперимента. Функциональную структуру микробного сообщества исследовали в свежееотбренной почве методом предельных разведений с последующим высевом почвенной суспензии на соответствующие питательные среды [24; 25]. Аммонификаторы учитывали на мясопептонном агаре (МПА); бактерии, использующие азот минеральных соединений (они же амилолитики), – на крахмало-аммиачном агаре (КАА); количество азотфиксаторов – на среде Эшби; олигокарбофилы – на голодном агаре (ГА); педотрофы – на почвенном агаре (ПА); нитрификаторы – на нитритном агаре (НА); целлюлозолитические микроорганизмы (ЦМ) – на среде Гетчинсона. Также учитывали численность микромицетов (на среде Чапека – Докса) и актинобактерий (на КАА). Количество микроорганизмов выражали в колониеобразующих единицах (КОЕ) в 1 г абсолютно сухой почвы (а. с. п.). Коэффициент влажности определяли термостатно-весовым методом. Индекс олиготрофности (ИО) и педотрофности (ИП), коэффициент минерализации-иммобилизации азота (КМИ) рассчитывали математически по соотношению КОЕ выросших на ГА, ПА и КАА к МПА соответственно [24].

Статистическую обработку данных проводили с использованием программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 10, применяли дисперсионный анализ, различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Полученные результаты приведены в виде средних арифметических значений со стандартными ошибками ($M \pm SEM$).

Результаты (Results)

Разложение соломы – многоступенчатый биологический процесс, в который вовлечены разные эколого-трофические группы микроорганизмов. При изучении динамики биодеструкции рисовой

соломы выявлено возрастание численности аммонифицирующих и амилалитических бактерий, выполняющих стартовую функцию разложения соломы, в течение 45 дней (в контрольном варианте – 47,3 млн, а при внесении КМП ЦМ – 54,7 млн) и 30 дней (в контрольном варианте – 42,5 млн, а при внесении КМП ЦМ – 61,7 млн) соответственно (таблица 1). Наибольшее распространение обусловлено скоростью минерализации самых доступных органических соединений. Следует отметить, что до закладки опыта (т. е. отсутствие субстрата в почве) количество описанных выше групп микроорганизмов было на порядок ниже (2,5–2,9 млн). Полученные нами результаты согласуются с литературными данными [26; 27].

Редуцентом на завершающих стадиях разложения соломы является олиготрофная группа микроорганизмов. Внесение КМП ЦМ стимулировало увеличение численности олигокарбофилов в 2 раза (15,0 млн против 8,7 млн в контрольном варианте), максимальное количество отмечено спустя 60 дней ($p < 0,05$) экспозиции и на порядок превысило этот же показатель до заделки растительных остатков (0,6 млн). Через 15 дней эксперимента зафиксирована максимальная численность педотрофных микроорганизмов в опыте. Показано, что обработка растительных остатков КМП ЦМ способствовала увеличению их количества на 56,3 % ($p < 0,05$) и 56,7 % ($p < 0,05$) относительно контрольного варианта через 15 и 60 дней от закладки опыта соответственно. Рост их активности отражает повышение биологической продуктивности почвы и способствует стабилизации микробоценоза за счет более эффективного включения органических остатков в почвенный круговорот веществ. Численность нитрификаторов также значительно увеличилась после внесения соломы, а применение КМП ЦМ обеспечило их прирост к контролю на 32, 9, 17 и 75 % ($p < 0,05$) соответственно через 15, 30, 45 и 60 дней эксперимента. Следует учесть, что в первоначальной пробе почвы (до начала эксперимента) данная группа микроорганизмов не выявлялась. Она выполняет важную функцию – участвует в круговороте азота, переводя ее в нитратную форму, а также играет важную роль в круговороте углерода (гумуса), что вносит вклад в формирование почвенной органической массы [28].

В поддержании баланса биологического азота почвы значительную роль играют азотфиксирующие микроорганизмы, использующие в качестве источника энергии экссудаты корня или доступные им углеводы, образованные в результате трансформации (деструкции) свежей органики. Микробиологический анализ почвы (в рамках нашего опыта) показал, что внесение рисовой соломы стимулирует развитие азотфиксаторов, однако их численность

менялась волнообразно в периоды отбора. Следует отметить, что в исходном образце почвы (до закладки опыта) азотфиксирующая группа микроорганизмов отсутствовала. В образцах почвы, отобранных на 15-й день эксперимента, численность данных микроорганизмов возросла до $55\text{--}59,7 \times 10^6$ КОЕ в 1 г а. с. п., а внесение КМП ЦМ способствовало тенденции увеличения количества азотфиксаторов на 9 %. Такая же динамика отмечена и на 45-е сутки опыта, но процент стимуляции при интродукции КМП ЦМ был выше (22,0 %, $p < 0,05$). В почвенных образцах, отбор которых осуществлялся на 30-й день опыта, выявлено, что численная популяция азотфиксирующих микроорганизмов снижалась в 2 раза по сравнению с показателем, полученным при первом отборе проб на 15-й день проведения исследования. В ходе эксперимента зафиксировано, что интродукция КМП ЦМ с соломой риса стимулирует рост численности азотфиксирующих микроорганизмов по всем периодам отбора (15, 30, 45 и 60 дней) на 9, 42 ($p < 0,05$), 22 ($p < 0,05$) и 14 % соответственно. Численность азотфиксаторов, как и других эколого-трофических групп микроорганизмов, зависит от наличия доступного им субстрата, осуществляющего метаболический процесс.

Целлюлозолитики – основные деструкторы растительной целлюлозы. Развитие данной трофической группы в рамках наших исследований при внесении КМП ЦМ значительно увеличилось и превысило показатели контрольного варианта: на 86,4 % и 132,3 % на 15-й и 30-й день эксперимента соответственно. Увеличение числа целлюлозоразрушающих микроорганизмов, которые требуют дополнительного азота, указывало на то, что микробиологические процессы были направлены на увеличение азотфиксирующей способности почв, которую косвенно выявили по наличию в почве диазотрофов и накоплению щелочно-гидролизующего азота.

Известно, что микромицеты являются активными деструкторами органических остатков [29; 30], малодоступных другим микроорганизмам, и превалирует данная группа в более поздние стадии их разложения (1–2 года). В наших исследованиях показано, что внесение соломы стимулирует развитие микромицетов: через 15 дней эксперимента их численность составляла 19,8–24,3 КОЕ/г а. с. п., при этом в образцах почвы, отобранных с рисового чека (без соломы) и изученных перед закладкой опыта, данная функциональная группа не была обнаружена. Внесение микроорганизмов-деструкторов способствует количественному росту микромицетов (на 12,7 %) только на 30-е сутки экспозиции; на 45-й день эксперимента количество микромицетов сократилось в 2 раза, на 60-й день – в 3 раза в сравнении с контрольной почвой.

Таблица 1
Динамика численности изученных групп
микроорганизмов (КОЕ в 1 г а. с. п.)

Параметры исследований	Технологии	
	Контроль	Внесение КМП ЦМ
Почва до заделки растительных остатков		
Аммонификаторы, 10^6	2,5 ±0,10	
Амилолитики, 10^6	2,9 ±0,30	
Олигокарбофилы, 10^6	0,6 ±0,01	
Педотрофы, 10^6	2,8 ±0,20	
Нитрификаторы, 10^6	–	
Азотфиксаторы, 10^6	–	
Актинобактерии, 10^3	–	
Микромицеты, 10^3	18,4 ±0,4	
Целлюлозолитики, 10^3	104,0 ±8,0	
15 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	29,9 ±1,06	46,9 ±1,00
Амилолитики, 10^6	35,5 ±0,42	50,1 ±0,36*
Олигокарбофилы, 10^6	5,9 ±0,01	8,3 ±0,02
Педотрофы, 10^6	54,7 ±1,37	85,5 ±1,73*
Нитрификаторы, 10^6	15,4 ±0,57	20,3 ±1,00
Азотфиксаторы, 10^6	55,0 ±0,80	59,7 ±0,50
Актинобактерии, 10^3	28,6 ±0,66	45,9 ±0,63*
Микромицеты, 10^3	24,3 ±1,97	19,8 ±1,51
Целлюлозолитики, 10^3	147,9 ±14,60	275,7 ±19,83
30 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	40,6 ±1,01	48,4 ±1,30
Амилолитики, 10^6	42,5 ±0,80	61,7 ±0,87*
Олигокарбофилы, 10^6	10,8 ±0,50	11,7 ±0,56
Педотрофы, 10^6	29,5 ±0,80	36,2 ±0,85
Нитрификаторы, 10^6	37,4 ±1,93	40,7 ±1,90
Азотфиксаторы, 10^6	22,4 ±0,71	31,8 ±0,60*
Актинобактерии, 10^3	1,8 ±0,15	3,5 ±0,17
Микромицеты, 10^3	81,0 ±4,67	91,3 ±2,57
Целлюлозолитики, 10^3	92,7 ±9,30	215,3 ±27,83
45 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	47,3 ±0,75	54,7 ±0,93
Амилолитики, 10^6	35,7 ±1,13	41,8 ±0,77
Олигокарбофилы, 10^6	3,7 ±0,45	5,3 ±0,36
Педотрофы, 10^6	47,8 ±0,77	49,5 ±0,96
Нитрификаторы, 10^6	24,9 ±1,06	29,2 ±0,90
Азотфиксаторы, 10^6	49,3 ±0,83	60,2 ±0,97*
Актинобактерии, 10^3	0,7 ±0,10	0,8 ±0,11
Микромицеты, 10^3	47,3 ±2,30	43,5 ±2,43
Целлюлозолитики, 10^3	188,2 ±21,83	223,3 ±19,36
60 дней экспозиции		
Аммонификаторы, 10^6	24,2 ±0,82	42,2 ±0,80
Амилолитики, 10^6	24,2 ±0,86	34,3 ±1,20
Олигокарбофилы, 10^6	8,7 ±0,50	15,0 ±0,57*
Педотрофы, 10^6	30,7 ±0,80	48,1 ±0,91*
Нитрификаторы, 10^6	15,8 ±0,93	27,6 ±0,54*
Азотфиксаторы, 10^6	37,5 ±1,70	42,7 ±1,30
Актинобактерии, 10^3	0,9 ±0,10	1,5 ±0,15
Микромицеты, 10^3	29,8 ±2,36	24,4 ±2,50
Целлюлозолитики, 10^3	168,4 ±17,70	213,6 ±15,10

Примечание. * $p < 0,05$.

Table 1
The dynamics of the number of studied groups
of microorganisms (CFU / g of absolutely dry soil)

Studied parameters	Technologies	
	Control	Introduction of the CMP CM
Before sealing the plant residues		
Ammonifiers, 10^6	2.5 ±0.10	
Amylolytic, 10^6	2.9 ±0.30	
Oligocarbophiles, 10^6	0.6 ±0.01	
Pedotrophes, 10^6	2.8 ±0.20	
Nitrifiers, 10^6	–	
Nitrogen fixers, 10^6	–	
Actinobacteria, 10^3	–	
Micromycetes, 10^3	18.4 ±0.4	
Cellulolytics, 10^3	104.0 ±8.0	
15 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	29.9 ±1.06	46.9 ±1.00
Amylolytic, 10^6	35.5 ±0.42	50.1 ±0.36*
Oligocarbophiles, 10^6	5.9 ±0.01	8.3 ±0.02
Pedotrophes, 10^6	54.7 ±1.37	85.5 ±1.73*
Nitrifiers, 10^6	15.4 ±0.57	20.3 ±1.00
Nitrogen fixers, 10^6	55.0 ±0.80	59.7 ±0.50
Actinobacteria, 10^3	28.6 ±0.66	45.9 ±0.63*
Micromycetes, 10^3	24.3 ±1.97	19.8 ±1.51
Cellulolytics, 10^3	147.9 ±14.60	275.7 ±19.83
30 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	40.6 ±1.01	48.4 ±1.30
Amylolytic, 10^6	42.5 ±0.80	61.7 ±0.87*
Oligocarbophiles, 10^6	10.8 ±0.50	11.7 ±0.56
Pedotrophes, 10^6	29.5 ±0.80	36.2 ±0.85
Nitrifiers, 10^6	37.4 ±1.93	40.7 ±1.90
Nitrogen fixers, 10^6	22.4 ±0.71	31.8 ±0.60*
Actinobacteria, 10^3	1.8 ±0.15	3.5 ±0.17
Micromycetes, 10^3	81.0 ±4.67	91.3 ±2.57
Cellulolytics, 10^3	92.7 ±9.30	215.3 ±27.83
45 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	47.3 ±0.75	54.7 ±0.93
Amylolytic, 10^6	35.7 ±1.13	41.8 ±0.77
Oligocarbophiles, 10^6	3.7 ±0.45	5.3 ±0.36
Pedotrophes, 10^6	47.8 ±0.77	49.5 ±0.96
Nitrifiers, 10^6	24.9 ±1.06	29.2 ±0.90
Nitrogen fixers, 10^6	49.3 ±0.83	60.2 ±0.97*
Actinobacteria, 10^3	0.7 ±0.10	0.8 ±0.11
Micromycetes, 10^3	47.3 ±2.30	43.5 ±2.43
Cellulolytics, 10^3	188.2 ±21.83	223.3 ±19.36
60 days of exposure		
Ammonifiers, 10^6	24.2 ±0.82	42.2 ±0.80
Amylolytic, 10^6	24.2 ±0.86	34.3 ±1.20
Oligocarbophiles, 10^6	8.7 ±0.50	15.0 ±0.57*
Pedotrophes, 10^6	30.7 ±0.80	48.1 ±0.91*
Nitrifiers, 10^6	15.8 ±0.93	27.6 ±0.54*
Nitrogen fixers, 10^6	37.5 ±1.70	42.7 ±1.30
Actinobacteria, 10^3	0.9 ±0.10	1.5 ±0.15
Micromycetes, 10^3	29.8 ±2.36	24.4 ±2.50
Cellulolytics, 10^3	168.4 ±17.70	213.6 ±15.10

Note. * $p < 0.05$.

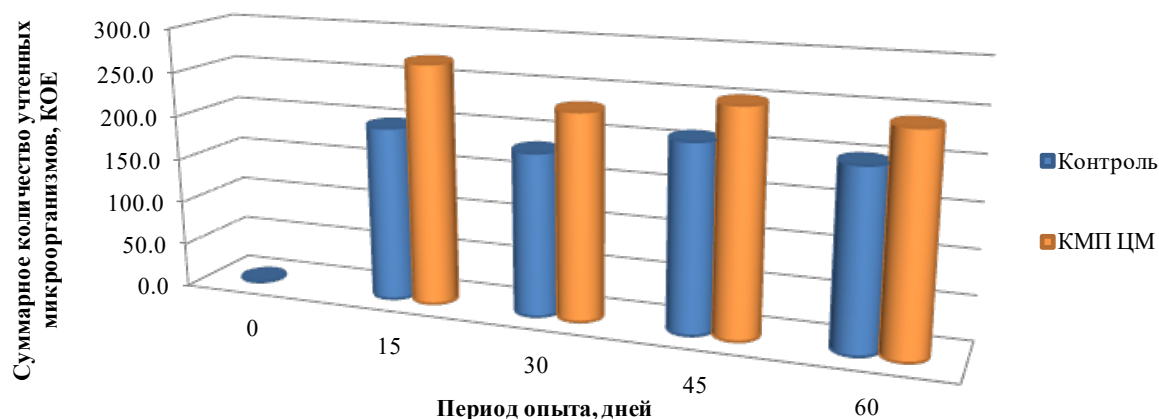


Рис. 1. Суммарное количество микроорганизмов основных эколого-трофических групп почвы при внесении субстрата и КМП ЦМ, КОЕ $\times 10^6$ /г а. с. п.

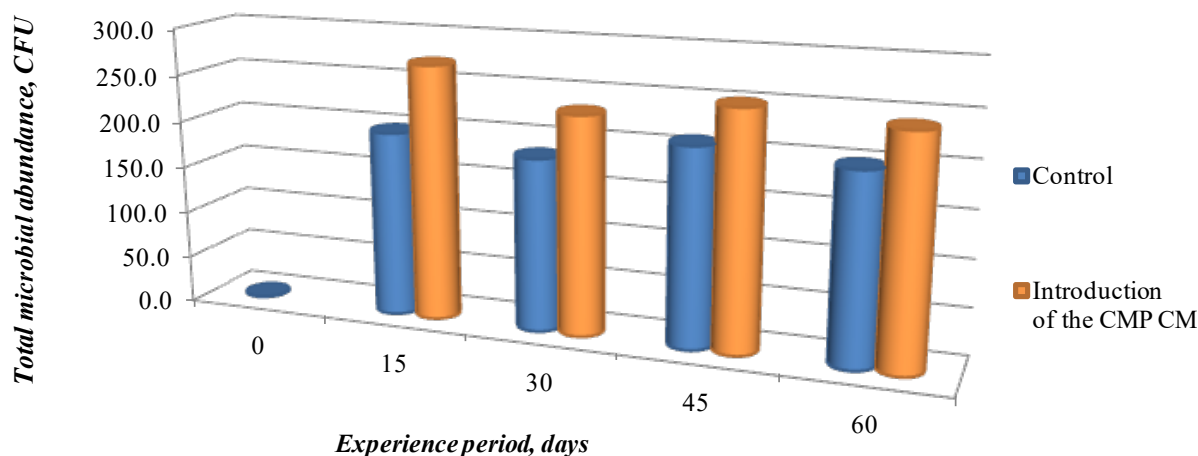


Fig. 1. The total number of microorganisms of the main ecological and trophic groups of the soil during the introduction of the substrate and the CMP CM, CFU $\times 10^6$ /g of absolutely dry soil

Актинобактерии, так же как и микромицеты, выполняют ключевую экофизиологическую роль в разложении растительных остатков, обладая высокой долей целлюлазных ферментов, обеспечивающих глубокую трансформацию труднодоступных соединений [31]. Внесение КМП ЦМ также стимулировало рост численности актинобактерий: через 15 ($p < 0,05$), 30 и 60 дней эксперимента, их количество увеличилось почти в два раза (1,6–1,9 раза) в сравнении с контролем. Важно отметить, что в образцах почвы до внесения субстрата эти микроорганизмы нами не обнаружены.

Результаты исследований показали, что солома в качестве субстрата и интродукция КМП ЦМ для ее трансформации способствует стимуляции и возрастанию численности эколого-трофических групп микроорганизмов в почве относительно контрольного варианта (до закладки опыта).

Суммарное количество учтенных микроорганизмов, характеризующих биогенность почвы, было на порядок выше в варианте опыта с внесением органики – соломы (контроль), а при внесении соломы риса совместно с КМП ЦМ превысило

показатели контрольного варианта на 38, 26, 20 и 21 % во все периоды отбора проб: 15, 30, 45 и 60 дней соответственно (рис. 1). Следует отметить, что максимальное суммарное количество микроорганизмов при внесении соломы отмечено через 45 дней от начала эксперимента, тогда как в варианте с биодеструктором – через 15 дней, что может свидетельствовать об активности микробиоты и более ускоренной трансформации субстрата. Результаты микробиологического анализа показали, что солома в качестве субстрата стимулирует развитие основных эколого-трофических групп микроорганизмов, участвующих в ее трансформации, а интродукция КМП ЦМ для ускорения этого процесса способствует увеличению численности микробного пула почвы во все периоды отбора относительно контрольного варианта.

В работе В. И. Кулагина с соавторами показано, что при расчете интегрального показателя биологического состояния почв наиболее информативными параметрами были численность аммонификаторов, амилаolitikов, актиномицетов [32].

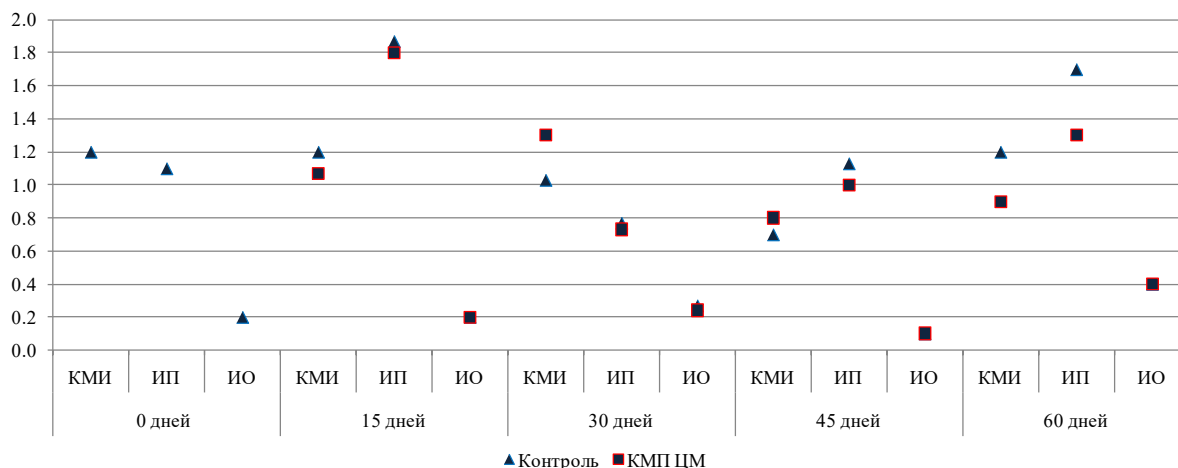


Рис. 2. Направленность минерализационных процессов в лугово-черноземной почве при внесении рисовой соломы и КМП ЦМ
КМИ – коэффициент минерализации-иммобилизации; ИП – индекс педотрофности; ИО – индекс олиготрофности

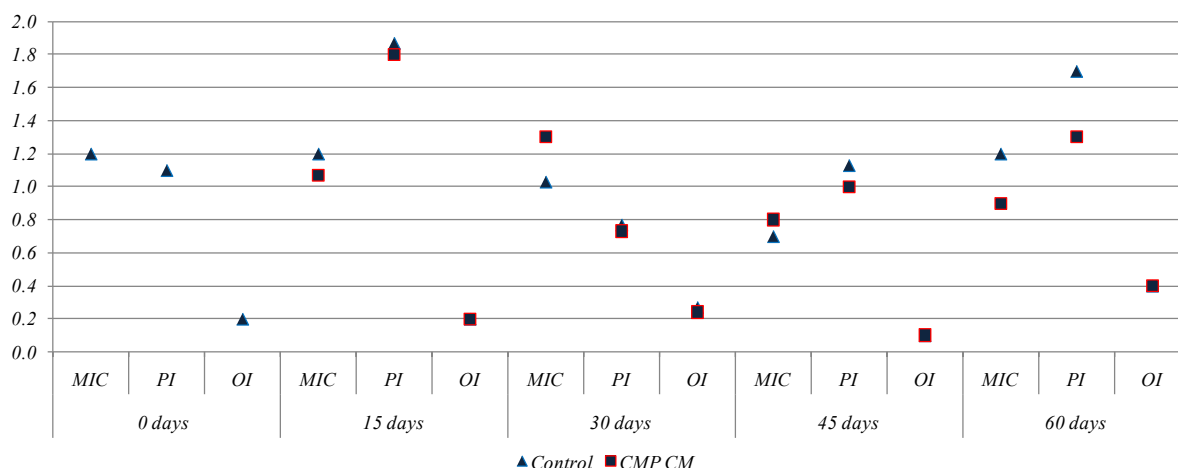


Fig. 2. The direction of the mineralization processes in meadow-chernozem soil with the introduction of rice straw and CMP CM
MIC – mineralization-immobilization coefficient; PI – pedotrophy index; OI – oligotrophy index

Расчет коэффициента минерализации-иммобилизации не показал значимых изменений как перед закладкой опыта, так и через 15, 30 и 60 дней (1,2, 1,1 и 1,2 соответственно), при этом на 45-й день опыта КМИ уменьшился в 1,7 раза относительно начала эксперимента – 15 дней (рис. 2), что обусловлено увеличением численности микроорганизмов, использующих азот минеральных соединений и свидетельствует о преобладании процессов минерализации азота. Отмеченные изменения указывают на замедление распада органического вещества и более интенсивное накопление гумуса, что способствует повышению плодородия и улучшению структуры почвы.

Индекс педотрофности – инструмент для оценки состояния почвы, который позволяет судить о состоянии естественного биогеоценоза, обладающего устойчивостью к негативным факторам [24]. В нашем опыте отмечена динамика изменения индекса педотрофности по мере разложения соломы. Мак-

симальное значение ИП (1,8–1,9) зафиксировано через 15 дней после начала эксперимента, его снижение до 0,73 – через 30 дней, возрастание через 45 и 60 суток, при этом на начальных этапах разложения субстрата значения индекса не имели отличий по вариантам опыта, а при внесении КМП ЦМ через 45 и 60 дней были меньше, чем в контроле, что может свидетельствовать об ускорении процессов гумусообразования при внесении КМП ЦМ [33].

Определение такого параметра, как индекс олиготрофности, позволяет установить степень развития микробиоты, участвующей в новообразовании гумусовых веществ. В образце почвы до закладки опыта и динамике отборов 15, 30, 45 дней данный показатель был на уровне 0,2, что указывает на сбалансированность микробного сообщества; к 60-му дню увеличился до 0,4, что, вероятнее всего, связано с понижением температурного режима и приостановкой деятельности биоты.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

В практике земледелия получает все большее распространение такой агротехнологический прием, как применение микробных препаратов для интенсификации процессов трансформации соломы при ее внесении в пахотный горизонт. Солома риса, как и других зерновых культур, является важным источником восполнения органического вещества в почве и фактором активации микробиологических процессов в ней. Проведенные исследования показали динамическую сукцессию микроорганизмов при разложении соломы риса на первоначальном этапе, а также что интродукция КМП ЦМ стимулирует развитие отдельных эколого-трофических групп микроорганизмов.

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

Установлено возрастание численности аммонификаторов при внесении соломы от 2,9 млн до КОЕ (перед закладкой) до 47,3 млн и последующим снижением до 24,3 млн в 1 г а. с. п. через 60 суток опыта. При внесении КМП ЦМ численность этой группы микроорганизмов увеличилась на 16–74 % в сравнении с контрольным вариантом.

Показано увеличение количества микроорганизмов, использующих азот минеральных соединений, как при внесении органики (соломы), так и при ее инокуляции КМП ЦМ (на 17,0–45,2 % к контролю).

Установлено увеличение численности олигокарбофилов (8,3–72,4 %), педотрофов (3,6–56,7 %) и нитрофилов (8,8–74,7 %) под влиянием инокуляции в течение эксперимента.

Количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов превышало в 2 раза вариант без обработки КМП ЦМ через 15 и 30 дней эксперимента.

Показано стимулирующее действие соломы и КМП ЦМ на развитие микромицетов и актинобактерий: увеличение количества микроскопических

грибов через 30 дней составило 12,7 %, а численность актинобактерий возрастала на 15-е, 30-е и 60-е сутки исследования почти в 2 раза относительно контроля.

Установлено, что при обработке растительных остатков КМП ЦМ возрастает биогенность почвы в среднем на 26 % за период опыта. Применение микробных препаратов для ускорения деструкции растительных остатков способствует сохранению биоразнообразия и является перспективным для применения в АПП.

Расчет коэффициента минерализации-иммобилизации не показал значимых изменений в период эксперимента. Отмечена динамика изменения ИП по мере разложения соломы. Максимальные значения индекса педотрофности (1,8–1,9) зафиксированы через 15 дней от начала эксперимента, который снизился через 30 дней и снова возрастал через 45 и 60 дней экспозиции.

По информативности и значимости изученные параметры следует расположить в следующем порядке: численность аммонификаторов > численность амилаolitikов > численность олиготрофной группы > численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов и микромицетов > индекс олиготрофности.

Таким образом, показано, что интродукция КМП ЦМ с соломой риса стимулирует поэтапное развитие необходимых для ускорения процесса деструкции микроорганизмов, сохраняя баланс естественного биоценоза, и является перспективным путем для рационального управления разложением рисовой соломы, что имеет большое значение для сельского хозяйства и устойчивого управления почвенными ресурсами.

Учитывая, что разложение соломы имеет длительное последствие, эксперимент продолжается.

Библиографический список

1. Van Hung N., Maguyon-Detras M. C., Migo M. V., et al. Rice straw overview: Availability, properties, and management practices // In: Gummert M., Hung N., Chivenge P., Douthwaite B. (eds.) Sustainable rice straw management. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-32373-8_1.
2. Rosado M. J., Marques G., Rencoret J., Gutiérrez A., Del Río J. C. Chemical composition of lipophilic compounds from rice (*Oryza sativa*) straw: An attractive feedstock for obtaining valuable phytochemicals // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Article number 868319. DOI: 10.3389/fpls.2022.868319.
3. Kumar K. G., Husain R., Mishra A., et al. Rice crop residue management by the microbial consortium for rapid decomposition of straw // 3 Biotech. 2024. Vol. 14, No. 5. Article number 137. DOI: 10.1007/s13205-024-03982-z.
4. Sun R., Wang X., Alhaj Hamoud Y., et al. Dynamic variation of bacterial community assemblage and functional profiles during rice straw degradation. // Frontiers in Microbiology. 2023. Vol. 14. Article number 1173442. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1173442.
5. Chen J., Zheng M.-J., Pang D.-W., et al. Straw return and appropriate tillage method improve grain yield and nitrogen efficiency of winter wheat. // Journal of integrative agriculture. 2017. Vol. 16, No. 8. Pp. 1708–1719. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61589-7.
6. Chen L. M., Sun S. L., Yao B., et al. Effects of straw return and straw biochar on soil properties and crop growth: a review // Frontiers in Plant Science. 2022. Vol. 13. Article number 986763. DOI: 10.3389/fpls.2022.986763.

7. Наими О. И. Особенности использования соломы в качестве органического удобрения // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019. Vol. 9-1. Pp. 10–13. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11552.
8. Orlova O. V., Kichko A. A., Pershina E. V., Pinaev A. G., Andronov E. E. Succession of bacterial communities in the decomposition of oats straw in two soils with contrasting properties // Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53, No. 11. Pp. 1620–1628. DOI: 10.1134/S1064229320090112.
9. Орлова О. В., Гладков Г. В., Зверев А. О. [и др.] Динамика про- и эукариотического микробиома соломы при ее разложении на поверхности почвы // Сельскохозяйственная биология. 2025. Т. 60, № 1. С. 82–95. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.82rus.
10. Wang X., He P., Xu X., et al. Characteristics of rice straw decomposition and bacterial community succession for 2 consecutive years in a paddy field in southeastern China // Scientific Reports. 2022. Vol. 12, No. 1. Article number 20893. DOI: 10.1038/s41598-022-25229-8.
11. Floudas D. Evolution of lignin decomposition systems in fungi // Advances in Botanical Research. 2021. Vol. 99. Pp. 37–76.
12. Brockett B. F., Prescott C. E., Grayston S. J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada // Soil Biology and Biochemistry. 2012. Vol. 44, No. 1. Pp. 9–20. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.09.003.
13. Muhammad S., Müller T., Joergensen R. G. Decomposition of pea and maize straw in Pakistani soils along a gradient in salinity // Biology and Fertility of Soils. 2006. Vol. 43, No. 1. Pp. 93–101. DOI: 10.1007/s00374-005-0068-z.
14. Bending G. D., Turner M. K., Jones J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities // Biology and Fertility of Soils. 2002. Vol. 34, No. 8. Pp. 1073–1082. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00040-8.
15. Лебедев Ю. М., Гонгальский К. Б., Горбунова А. Ю., Зайцев А. С. Разложение рисовой соломы мокрицами (*Isopoda*, *Oniscidea*) и двупарноногими многоножками (*Myriapoda*, *Diplopoda*) в почвах Калмыкии в лабораторном эксперименте // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26, № 3 (84). С. 88–92. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10111.
16. Российский статистический ежегодник 2016. Москва: Росстат, 2016. 725 с.
17. Tang S., Cheng W., Hu R., et al. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil // Biology and Fertility of Soils. 2016. Vol. 52. Pp. 739–748. DOI: 10.1007/s00374-016-1114-8.
18. Chen L., Tang T., Wang Z., et al. A novel fungal and bacterial consortium promotes the degradation of rice straw: conditions optimization and degradation properties // International Biodeterioration & Biodegradation. 2024. Vol. 194. Article number 105875. DOI: 10.1016/j.ibiod.2024.105875.
19. Русакова И. В. Биопрепараты для разложения растительных остатков в агроэкосистемах // Juvenis Scientia. 2018. № 9. С. 4–9. DOI: 10.32415/jscientia.2018.09.01.
20. Зеленский Г. Л., Котляров В. В., Котляров Д. В., Зеленский А. Г. Проблемы и перспективы утилизации рисовой соломы // Рисоводство. 2021. № 4 (53). С. 23–29. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-53-4-23-29.
21. Еговцева А. Ю., Каменева И. А., Абдурашитов С. Ф., Якубовская А. И., Гритчин М. В., Смирнова И. И. Влияние соломы озимой пшеницы, обработанной целлюлозолитической ассоциацией, на таксономическое разнообразие микробиома чернозема южного // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 3 (39). С. 46–57. DOI: 10.5281/zenodo.13782196.
22. Сидоренко А. В., Елисеева Н. В. Свойства лугово-черноземных почв Кубани под культурой риса // Вестник ОГУ. 2011. № 12 (131). С. 143–45.
23. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. Москва: Альянс, 2015. 315 с.
24. Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества. Нижний Новгород: Нижегородская сельскохозяйственная академия, 2012. 64 с.
25. Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. Москва: Дрофа, 2005. 254 с.
26. Русакова И. В. Теоретические основы и методы управления плодородием почв при использовании растительных остатков в земледелии. Владимир: ФГБНУ ВНИИОУ, 2016. 131 с.
27. Дзюин А. Г. Влияние соломы в севообороте на численность микроорганизмов и биологическую активность почвы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018. Т. 62, № 1. С. 58–64 DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.58-64.
28. Kleerebezem R., Lückner S. Cyclic conversions in the nitrogen cycle // Frontiers in Microbiology. 2021. Vol. 12. Article number 622504. DOI: 10.3389/fmicb.2021.622504.

29. Sviridova O. V., Vorobyov N. I., Andronov E. E., et al. Optimum ratio of complex biological product and fertilize (NPK) and the contribution of fungi and bacteria to the general decomposition and mulching of coniferous wood waste // *Agronomy Research*. 2022. Vol. 20 (4). Pp. 827–841. DOI: 10.15159/AR.22.059.

30. Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Тагиров Р. М., Рязанов С. С., Хисамова А. М. Выбор микробиологических показателей для выполнения интегральной эколого-биологической оценки почв при переувлажнении // *Принципы экологии*. 2019. № 4. С. 45–56.

31. Bao Y., Dolfing J., Guo Z., et al. Important ecophysiological roles of non-dominant *Actinobacteria* in plant residue decomposition, especially in less fertile soils // *Microbiome*. 2021. Vol. 9, No. 1. Article number 84. DOI: 10.1186/s40168-021-01032-x.

32. Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Рязанов С. С. [и др.] Проверка набора параметров для интегральной оценки эколого-биологического состояния почв при органическом земледелии // *Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского Биология. Химия*. 2021. Т. 7 (73), № 1. С. 90–102.

33. Горгулько Т. В., Дидович С. В., Алексеенко О. П., Шитик А. С. Влияние «Микробиоком-агро» и различных технологий земледелия на микробиологическую активность ризосферы льна масличного // *Таврический вестник аграрной науки*. 2024. № 4 (40). С. 38–51. DOI: 10.5281/zenodo.14184314.

Об авторах:

Алла Ивановна Якубовская, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия;

ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301. E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru

Анна Юрьевна Еговцева, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0002-3638-0194, AuthorID 925336. E-mail: eau82@mail.ru

Ирина Алексеевна Каменева, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия;

ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450. E-mail: irina.kameneva.7@yandex.ru

Ирина Игоревна Смирнова, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0009-0007-2684-3363, AuthorID 924495.

E-mail: irina_smirnova86@bk.ru

Максим Владимирович Гритчин, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0000-0002-9680-493X, AuthorID 924496.

E-mail: maxim_gmv@mail.ru

Алексей Олегович Каменев, младший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Россия; ORCID 0009-0007-9026-7583, AuthorID 1232970.

E-mail: testfreelove@yandex.ru

References

1. Van Hung N., Maguyon-Detras M. C., Migo M. V., et al. Rice straw overview: Availability, properties, and management practices. In: *Gummert M., Hung N., Chivenge P., Douthwaite B. (eds.) Sustainable Rice Straw Management*. 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-32373-8_1.

2. Rosado M. J., Marques G., Rencoret J., Gutiérrez A., Del Río J. C. Chemical composition of lipophilic compounds from rice (*Oryza sativa*) straw: An attractive feedstock for obtaining valuable phytochemicals. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 868319. DOI: 10.3389/fpls.2022.868319.

3. Kumar K. G., Husain R., Mishra A., et al. Rice crop residue management by the microbial consortium for rapid decomposition of straw. *3 Biotech*. 2024; 14 (5): 137. DOI: 10.1007/s13205-024-03982-z.

4. Sun R., Wang X., Alhaj Hamoud Y., et al. Dynamic variation of bacterial community assemblage and functional profiles during rice straw degradation. *Frontiers in Microbiology*. 2023; 14: 1173442. DOI: 10.3389/fmicb.2023.1173442.

5. Chen J., Zheng M.-J., Pang D.-W., et al. Straw return and appropriate tillage method improve grain yield and nitrogen efficiency of winter wheat. *Journal of Integrative Agriculture*. 2017; 16 (8): 1708–1719. DOI: 10.1016/S2095-3119(16)61589-7.

6. Chen L. M., Sun S. L., Yao B., et al. Effects of straw return and straw biochar on soil properties and crop growth: a review. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 986763. DOI: 10.3389/fpls.2022.986763.

7. Naimi O. I. Features of using straw as an organic fertilizer. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2019; 9-1: 10–13. DOI: 10.24411/2500-1000-2019-11552.

8. Orlova O. V., Kichko A. A., Pershina E. V., Pinaev A. G., Andronov E. E. Succession of bacterial communities in the decomposition of oats straw in two soils with contrasting properties. *Eurasian Soil Science*. 2020; 53 (11): 1620–1628. DOI: 10.1134/ S1064229320090112.
9. Orlova O. V., Gladkov G. V., Zverev A. O., et al. Dynamics of the pro- and eukaryotic microbiome of straw during its destruction under surface application. *Agricultural Biology*. 2025; 60 (1): 82–95. DOI: 10.15389/agrobiology.2025.1.82rus. (In Russ.)
10. Wang X., He P., Xu X., et al. Characteristics of rice straw decomposition and bacterial community succession for 2 consecutive years in a paddy field in southeastern China. *Scientific Reports*. 2022; 12 (1): 20893. DOI: 10.1038/s41598-022-25229-8.
11. Floudas D. Evolution of lignin decomposition systems in fungi. *Advances in Botanical Research*. 2021; 99: 37–76.
12. Brockett B. F., Prescott C. E., Grayston S. J. Soil moisture is the major factor influencing microbial community structure and enzyme activities across seven biogeoclimatic zones in western Canada. *Soil Biology and Biochemistry*. 2012; 44 (1): 9–20. DOI: 10.1016/j.soilbio.2011.09.003.
13. Muhammad S., Müller T., Joergensen R. G. Decomposition of pea and maize straw in Pakistani soils along a gradient in salinity. *Biology and Fertility of Soils*. 2006; 43 (1): 93–101. DOI: 10.1007/s00374-005-0068-z.
14. Bending G. D., Turner M. K., Jones J. E. Interactions between crop residue and soil organic matter quality and the functional diversity of soil microbial communities. *Biology and Fertility of Soils*. 2002; 34 (8): 1073–1082. DOI: 10.1016/S0038-0717(02)00040-8.
15. Lebedev Yu. M., Gongalsky K. B., Gorbunova A. Yu., Zaytsev A. S. Decomposition of rice straw by woodlice (*Isopoda*, *Oniscidea*) and millipedes (*Myriapoda*, *Diplopoda*) in soils of Kalmykia in a laboratory experiment. *Arid Ecosystems*. 2020; 26 (3): 88–92. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10111. (In Russ.)
16. *Russian Statistical Yearbook 2016*. Moscow: Rosstat, 2016. 725 p. (In Russ.)
17. Tang S., Cheng W., Hu R., et al. Simulating the effects of soil temperature and moisture in the off-rice season on rice straw decomposition and subsequent CH₄ production during the growth season in a paddy soil. *Biology and Fertility of Soils*. 2016; 52: 739–748. DOI: 10.1007/s00374-016-1114-8.
18. Chen L., Tang T., Wang Z., et al. A novel fungal and bacterial consortium promotes the degradation of rice straw: conditions optimization and degradation properties. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2024; 194: 105875. DOI: 10.1016/j.ibiod.2024.105875.
19. Rusakova I. V. Biopreparations for decomposition of plant residues in agroecosystems. *Juvenis Scientia*. 2018; 9: 4–9. DOI: 10.32415/jscientia.2018.09.01. (In Russ.)
20. Zelenskiy G. L., Kotlyarov V. V., Kotlyarov D. V., Zelenskiy A. G. Problems and prospects of rice straw disposal. *Rice Growing*. 2021; 4 (53): 23–29. DOI: 10.33775/1684-2464-2021-53-4-23-29. (In Russ.)
21. Egovtseva A. Yu., Kameneva I. A., Abdurashitov S. F., et al. Influence of winter wheat straw treated with cellulolytic association on the taxonomic diversity of the microbiome of chernozem southern. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024; 3 (39): 46–57. DOI: 10.5281/zenodo.13782196. (In Russ.)
22. Sidorenko A. V., Eliseeva N. V. Properties meadow chernozem soils of crop Kuban rice. *Bulletin of Orenburg State University*. 2011; 12 (131): 143–45. (In Russ.)
23. Dospekhov B. A. *Methodology of field experiment*. Moscow: Al'yans, 2015. 315 p. (In Russ.)
24. Titova V. I., Kozlov A. V. *Methods for assessing the functioning of soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter*. Nizhny Novgorod: Nizhny Novgorod Agricultural Academy, 2012. 64 p. (In Russ.)
25. Tepper E. Z., Shilnikova V. K., Pereverzeva G. I. *Practical training in microbiology*. Moscow: Drofa, 2005. 254 p. (In Russ.)
26. Rusakova I. V. *Theoretical foundations and methods of soil fertility management when using plant residues in agriculture*. Vladimir: VNIIOU, 2016. 131 p. (In Russ.)
27. Dzyuin A. G. Effect of straw on the number of microorganisms and biological activity of soil in crop rotation. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2018; 62 (1): 58–64. DOI: 10.30766/2072-9081.2018.62.1.58-64. (In Russ.).
28. Kleerebezem R., Lückers S. Cyclic conversions in the nitrogen cycle. *Frontiers in Microbiology*. 2021; 12: 622504. DOI: 10.3389/fmicb.2021.622504.
29. Sviridova O. V., Vorobyov N. I., Andronov E. E., et al. Optimum ratio of complex biological product and fertilize (NPK) and the contribution of fungi and bacteria to the general decomposition and mulching of coniferous wood waste. *Agronomy Research*. 2022; 20 (4): 827–841. DOI: 10.15159/AR.22.059.
30. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Tagirov R. M., Ryazanov S. S., Khisamova A. M. Selection of microbiological indicators to perform an integrated ecological-and-biological assessment of waterlogged soils. *Principles of Ecology*. 2019; 4: 45–56. (In Russ.)

31. Bao Y., Dolfing J., Guo Z., et al. Important ecophysiological roles of non-dominant *Actinobacteria* in plant residue decomposition, especially in less fertile soils. *Microbiome*. 2021; 9 (1): 84. DOI: 10.1186/s40168-021-01032-x.
32. Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Ryazanov S. S., et al. Assessment of the set of parameters for an integral evaluation of an ecological and biological state of soils in organic agriculture. *Scientific Notes of the V. I. Vernadsky Crimean Federal University Biology. Chemistry*. 2021; 7 (73): 90–102. (In Russ.)
33. Gorgulko T. V., Didovich S. V., Alekseenko O. P., Shitik A. S. Influence of “Microbiocom-agro” and various farming technologies on the microbiological activity of the rhizosphere of *Linum usitatissimum*. *Taurida Herald of the Agrarian Sciences*. 2024; 4 (40): 38–51. DOI: 10.5281/zenodo.14184314. (In Russ.)

Authors' information:

Alla I. Yakubovskaya, candidate of biological science, leading researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0001-8434-2689, AuthorID 806301.

E-mail: yakubovskaya_alla@mail.ru

Anna Yu. Egovtseva, researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0000-0002-3638-0194, AuthorID 925336. E-mail: eau82@mail.ru

Irina A. Kameneva, candidate of agricultural sciences, leading researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia; ORCID 0000-0003-3914-7184, AuthorID 904450.

E-mail: irina.kameneva.7@yandex.ru

Irina I. Smirnova, junior researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0009-0007-2684-3363, AuthorID 924495. E-mail: irina_smirnova86@bk.ru

Maksim V. Gritchyn, researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0000-0002-9680-493X, AuthorID 924496. E-mail: maxim_gmv@mail.ru

Aleksey O. Kamenev, junior researcher, Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russia;

ORCID 0009-0007-9026-7583, AuthorID 1232970. E-mail: testfreelove@yandex.ru