

3. Mihajlenko I.M. Spособ odnovenennogo differencirovan-nogo vneseniya zhidkih mineral'nyh udobrenij i gerbicidov i ustrojstvo dlya ego osushchestvleniya. Patent RF № 2772889 ot 26 maya 2022 g.
4. Mihajlenko I.M. Teoreticheskie osnovy i tekhnicheskaya realizaci-ya upravleniya agrotekhnologiyami. Izd. SPbGTU. 2017. 250 s.
5. Tochnoe zemledelie: uchebnik. Prakticheskoe posobie / pod red. D. Shpaar, A.V. Zaharenko, V.P. Yakusheva. SPb. Push-kin. 2009. 397 s.
6. Benjamin L.R., Milne A.E., Parsons D.J. et al. Using stochas-tic dynamic programming to support weed management deci-sions over a rotation // Weed Res. 2009. Vol. 49. PP. 207–216. <https://doi.org/10.1111/J.1365-3180.2008.00678.X>
7. Besette D., Wilson R., Beaudrie C., Schroeder C. An online decision support tool to evaluate ecological weed management strategies // Weed Sci. 2019. Vol. 67. PP. 463–473. <https://doi.org/10.1017/wsc2019.21>
8. Bohanec M., Cortet J. Griffiths B. et al. A qualitative multi-attribute model for assessing the impact of cropping systems on soil quality // Pedobiologia. 2007. Vol. 51 (3). PP. 239–250. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2007.03.006>
9. Emmi L., Gonzalez-De-Soto M., Pajares G., Gonzalez-De-Santos P. New trends in robotics for agriculture: Integration and assessment of a real fleet of robots // The Scientific World Journal. 2014. 21 p. <https://doi.org/10.1155/2014/404059>
10. Oliver M., Bishop T., Marchant B. An overview of precision agriculture. In Precision Agriculture for Sustainability and En-vironmental Protection // Eds. Rout. London. 2013. <https://doi.org/10.4324/9780203128329>
11. Precision agriculture technology for crop farming. Edited by Qin Zhang. Washington State University Prosser, Washington, USA. 2016. 382 P. <https://doi.org/10.1111/sum.12320>

Поступила в редакцию 20.05.2024

Принята к публикации 03.06.2024

УДК 631.427:631.445.4

DOI: 10.31857/S2500208224050138, EDN: zslcqp

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЧЕРНОЗЕМА ТИПИЧНОГО ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР ПО АГРОБИОТЕХНОЛОГИИ

Наталья Анатольевна Чуян, доктор сельскохозяйственных наук
Анастасия Андреевна Дюкарева, аспирант, младший научный сотрудник
Галина Михайловна Брескина, кандидат сельскохозяйственных наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр»,
г. Курск, Россия

E-mail: natalia-chuyan@yandex.ru

Аннотация. В статье представлены результаты изучения микробоценоза чернозема типичного слабоэродированного под посевами кукурузы на зерно и овса в условиях применения агробитехнологий, включающих обработку семян, почвы, растений и послеу-борочных остатков микробиологическими препаратами на основе *Trichoderma* и *Lactobacillus*, а также использование азотных удобрений и извести при поверхностной заделке побочной продукции. Исследования проведены на территории ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Медвенский район, Курский район, с. Панино) на двух полях. В 2022 году на первом поле (зерновой севооборот) возделы-вали овес посевной *Avena sativa* L. сорт Борец (предшественник — гречиха), на втором (зернопропашной) — гибрид кукурузы *Zea mays* L. сорт Делитон (предшественник — озимая пшеница). Почва — чернозем типичный малогумусный слабоэродированный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке. Установлено, что при уборке под кукурузой и овсом, независимо от факторов опыта (микробиологические препараты, азотные удобрения и известь) почва отличалась увеличением численности сапрофитной микрофлоры и микромицетов, по сравнению с фазой всходов культур. Внесение микробиологических препаратов на основе *Trichoderma* и *Lactobacillus* с азотными удобрениями и побочной продукцией способствовало росту биогенности почвы, что в среднем за вегетацию превышало контроль на 43,9 и 57,2% соответственно под кукурузой и овсом. Отмечена максимальная численность микроскопических грибов при совместном применении Трихопланта, СК и Биогора-Ж с минеральным азотом, но под овсом содержание грибной микрофлоры на 8,9 тыс. КОЕ/г почвы было выше, чем под кукурузой. Наибольший коэффициент трансформации органического вещества наблюдали при инокуляции побочной продукции микробиологическими препаратами с известью, независимо от культуры и сроков определения.

Ключевые слова: микробиологические препараты, азотные удобрения, известь, побочная продукция, чернозем типичный, микро-боценоз, гибрид кукурузы, овес посевной

MICROBIOLOGICAL ACTIVITY OF TYPICAL CHERNOZEM IN CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS USING AGROBIOTECHNOLOGY

N.A. Chuyan, *Grand PhD in Agricultural Sciences*
A.A. Dyukareva, *PhD Student, Junior Researcher*
G.M. Breskina, *PhD in Agricultural Sciences*
Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russia
E-mail: natalia-chuyan@yandex.ru

Abstract. The article presents the results of a study of the microbial cenosis of typical slightly eroded chernozem under crops of corn for grain and oats under conditions of the use of agrobiotechnologies, including the treatment of seeds, soil, plants and post-harvest residues with microbiological preparations based on *Trichoderma* and *Lactobacillus*, as well as the use of nitrogen fertilizers and lime against the background of surface incorporation by-products. The research was carried out on the territory of the Federal State Budgetary Institution “Kursk FATS” (Medvensky district, Kursky district, Panino village) in two fields. In 2022, in the first field (grain crop rotation) oats (*Avena sativa* L.) variety “Borets” (predecessor – buckwheat) were cultivated, in the second (grain crop rotation) – hybrid corn (*Zea mays* L.) variety “Delitop” (predecessor – winter wheat). The soil of the experimental field is typical low-humus, slightly eroded, heavy loamy chernozem on carbonate loess-like loam. It was established that during the harvesting phase under corn and oats, regardless of the factors (microbiological preparations, nitrogen fertilizers and lime) of the experiment, the soil was characterized by an increase in the number of saprophytic microflora and micromycetes compared to the phase of crop germination. The introduction of microbiological preparations based on *Trichoderma* and *Lactobacillus* with nitrogen fertilizers and by-products contributed to an increase in soil biogenicity, which on average during the growing season exceeded the control by 43.9 and 57.2%, respectively, under corn and oats. The maximum number of microscopic fungi was noted with the combined use of *Trichoplant*, SK and *Biogor-Zh* with mineral nitrogen, but the soil under oats in terms of the content of fungal microflora was 8.9 thousand CFU/g soils exceeded their amount under corn crops. The highest value of the transformation coefficient of organic matter was observed when by-products were inoculated with microbiological preparations with lime, regardless of the culture and timing of determination (phases of germination and harvesting of crops).

Keywords: Microbiological preparations, nitrogen fertilizers, lime, by-products, typical chernozem, microbial cenosis, corn hybrid, seed oats

Микроорганизмы, осуществляя трансформацию растительных остатков и участвуя в формировании структуры почвы, образовании гумуса и его минерализации, играют важную роль в почвообразовании и сохранении плодородия. [1, 18]

На современном этапе развития сельского хозяйства активизация растительно-микробных систем возможна с применением живых микроорганизмов. Микробиота – незаменимая и неотъемлемая составляющая почвы, которая оказывает комплексное влияние на растения в агроценозах. [16] При бактеризации микробными препаратами семян происходит интродукция в агробиоценозы агрономически полезных микроорганизмов. [6]

Микробные препараты обеспечивают увеличение численности почвенных микроорганизмов. Наибольшее количество аммонификаторов, микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, отмечали в фазе цветения кукурузы. [9]

Микробные препараты активизируют почвенную микрофлору, положительно влияют на ферментативный статус растений, ограничивают развитие патогенной микрофлоры. [3]

Инокуляция семян озимой пшеницы биопрепаратом комплексного действия Ризоагрин 2 на фоне $N_{15}P_{23}$ положительно влияла на биологические свойства лугово-черноземной почвы, стимулировала рост численности почвенной микрофлоры. [12]

Отмечено заметное действие ассоциативных микроорганизмов на увеличение численности бактерий аммонификаторов (на 41%), актиномицетов (13,2), грибной микрофлоры (70,6%), ответственных за первичную деструкцию органических остатков. [13]

Введение аборигенного штамма целлюлолитического микромицета и дополнительных компонентов в систему способствовало ускорению разложения соломы, что приводило к оптимизации микробного сообщества почвы и повышению ее эффективного плодородия. [14]

Применение соломы в качестве органического удобрения повышало биологическую активность дерново-подзолистой почвы. Из-за увеличения численности почвенных микроорганизмов происходила активная минерализация органического вещества. [4]

Цель работы – изучить микробиологический состав чернозема типичного слабоэродированного под кукурузой и овсом посевным в условиях агробиотех-

нологии, включающей обработку семян, почвы, растений и побочной продукции микробиологическими препаратами на основе *Trichoderma* и *Lactobacillus*, а также использование азотных удобрений и извести на фоне поверхностной заделки в почву побочной продукции культур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полевой опыт с применением микробиологических препаратов и побочной продукции, азотных удобрений и извести на черноземе типичном слабосмытом заложен в 2018 году на территории ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (Медвенский район, Курский район, с. Панино) на двух полях. В 2022 году на первом поле (зерновой севооборот) возделывали овес посевной *Avena sativa* L., сорт *Борец* (предшественник – гречиха), на втором (зернопропашной) – гибрид кукурузы *Zea mays* L., сорт *Делитоп* (предшественник – озимая пшеница).

Микробиологические препараты: Трихоплант, СК (на основе *Trichoderma*) и Биогор-Ж (*Lactobacillus*). Трихоплант, СК содержит почвенный гриб, споры *Trichoderma longibrachiatum* (штамм GF 2/6) и продукты его жизнедеятельности, предназначенные для обработки семян, почвы перед посевом, растений в период вегетации и растительных остатков после уборки предшествующей культуры. Биопрепарат снижает фитотоксичность и улучшает агрохимические характеристики любого типа почв, стимулирует рост и повышает иммунитет растений.

Комплексный препарат Биогор-Ж серии КМ создан на основе консорциума бактерий рода *Lactobacillus plantarum* 34, *Lactobacillus fermentum* 27, *Lactobacillus lactis. subsp. lactis* AMS, *Saccharomyces cerevisiae* (cartsbergensis), *Azotobacter chroococcum* A-41, *Bacillus megaterium* Ф-3, генетически немодифицированных микроорганизмов, обладающих пробиотической, целлюлозоразлагающей, азотофиксирующей и фосфатомобилизующей способностями.

Во всех вариантах опыта после уборки предшествующих культур побочную продукцию (измельченные растительные остатки) использовали в качестве удобрения путем поверхностной заделки их в почву, кроме контроля, где их удаляли с поля и не применяли азотные удобрения, известь и биопрепараты.

Размер делянки – 240 м², учетная площадь – 152 м², два поля, семь вариантов, повторность – трехкратная.

Схема опыта: 1) контроль (без удобрений и побочной продукции); 2) измельченная побочная продукция (ПП) культуры; 3) ПП + азотные удобрения из расчета 10 кг д.в. N на 1 т соломы; 4) ПП + известь 1,5 т/га; 5) ПП + обработка семян микробиологическими препаратами (Трихоплант 2 л/т + Биогор-Ж 1 л/т) + обработка почвы перед посевом (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га) + обработка посевов два раза за вегетацию (Трихоплант 2 л/га + Биогор-Ж 1 л/га) + измельченной побочной продукции культуры (Трихоплант 5 л/га + Биогор-Ж 2 л/га); 6) ПП + микробиологические препараты Трихоплант, СК и Биогор-Ж + 10 кг д.в. N на 1 т побочной продукции; 7) ПП + микробиологические препараты Трихоплант, СК и Биогор-Ж + известь 1,5 т/га.

Почва — чернозем типичный малогумусный слабоэродированный тяжелосуглинистый на карбонатном лессовидном суглинке. При закладке эксперимента в пахотном слое почвы среднее содержание гумуса (по Тюрину) составляло $4,98 \pm 0,15\%$. Реакция почвенной среды слабокислая или близкая к нейтральной ($pH_{\text{сол}} = 5,8...6,3$). Содержание обменного кальция — $22,0...23,3$ мг-экв./100 г почвы, подвижных форм фосфора и калия (по Чирикову) — $8,8...12,0$ мг/100 г почвы и $9,7...11,2$ соответственно, обменного аммония (по методу ЦИНАО (ГОСТ 26487-85) — $10,9...13,2$, нитратного азота (по методу Гранвальд-Ляжу) — $4,8...5,1$ мг/100 г почвы, общего азота (по Кьельдалю) — $0,22...0,23\%$.

В 2022 году наблюдали чередование периодов со сверхизбыточной увлажненностью в апреле и мае (ГТК = 4,59 и 2,75 соответственно), очень сильной засухливостью в июне (0,17), обеспеченным увлажнением в июле (1,12), очень сильной засухливостью в августе (0,35), со сверхизбыточной увлажненностью в сентябре (4,15), засухливостью в октябре (ГТК=0,72).

В составе микробиоценоза мы учитывали численность сапрофитных микроорганизмов в фазах всходов и уборки сельскохозяйственных культур, аммонификаторы азота — на мясопептонном агаре (МПА), иммобилизаторы азота и актиномицеты — на крахмало-амиачном агаре (КАА), микроскопические грибы — на среде Чапека. [5]

Коэффициент трансформации органического вещества (Ктр.), показывающий направленность процессов гумусообразования позволяет оценить изменения направленности микробиологических процессов: $K_{\text{тр.}} = (M_{\text{ПА}} + K_{\text{АА}}) \times M_{\text{ПА}}/K_{\text{АА}}$. Коэффициент минерализации (Кмин.) отражает интенсивность микробиологической мобилизации азота в почве: $K_{\text{мин.}} = K_{\text{АА}}/M_{\text{ПА}}$. [10]

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Инокуляция семян микробиологическими препаратами и обработка ими почвы и посевов изменила направленность микробиологических процессов и численность физиологических групп.

При совместном внесении соломы и минеральных удобрений повышение численности микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (на КАА), говорит о преобладании минерализационных процессов над аккумулятивными, что не способствует закреплению органического вещества в почве. [8]

Об этом свидетельствуют наибольшие показания численности амилитических (КАА) групп микро-

организмов в вариантах с побочной продукцией и азотными удобрениями, по сравнению с другими компонентами опыта (микробиологические препараты и известь). Они превышали контрольные данные на 55,3 и 60,0% соответственно по овсу и кукурузе. Интенсивнее процесс минерализации протекал в условиях совместного внесения обработанной побочной продукции азотными удобрениями с Трихоплантом, СК и Биогором-Ж (вариант 6) по овсу на 62,7, кукурузе — 68,5% (табл. 1).

Применение всех компонентов (азотные удобрения, микробиологические препараты и известь) повысило численность протеолитических (МПА) бактерий в почве по отношению к контролю, независимо от культуры. Развитие аммонифицирующих микроорганизмов в фазе всходов характеризовалось низкой активностью. Лучшая среда для протеолитической группы микроорганизмов по овсу и кукурузе в среднем по опыту — микробиологические препараты с известью 9,10 и 7,34 млн КОЕ / г почвы соответственно.

По количеству микромицетов можно судить о процессах микробиологической минерализации органического вещества. Относительно контроля во всех вариантах опыта наблюдался прирост грибной микрофлоры. У овса активность данной группы микроорганизмов выше, по сравнению с кукурузой.

Интенсивность развития микрофлоры отмечена в первой половине лета при ГТК, близком 1,0. Но в острозасушливые и переувлажненные периоды микробиологические процессы ингибируются, что ведет к уменьшению численности бактерий. Активность микробиологических процессов варьирует в зависимости от температуры воздуха и почвы в период наблюдений. [15] Низкая активность развития аммонифицирующей группы микроорганизмов микрофлоры в фазе всходов связана с неблагоприятными гидротермическими условиями. Несмотря на повышенный ГТК (2,75) в мае, период отбора образцов (июнь) характеризовался уменьшением количества осадков (ГТК = 0,17) и понижением температуры воздуха на $3,8^{\circ}\text{C}$, по сравнению с нормой, что негативно сказалось на интенсивности микробиологической активности.

По показателю биогенности почвы, складывающейся из суммы активности амилитических (КАА) и протеолитических (МПА) бактерий, можно судить о том, что все факторы опыта положительно отразились на процессе микробиологического преобразования органического вещества, независимо от культуры (рис. 1).

Наибольшая биогенность по кукурузе проявилась в варианте с внесением азотных удобрений и микробиологических препаратов (вариант 6) — 19,4 млн КОЕ/г почвы. Положительный эффект был от внесения извести с побочной продукцией и совместно с микробными препаратами (на 71,0 и 73,8% выше контроля). Микробиологические препараты уступали действию азотных удобрений, совместного их внесения с биопрепаратами (вариант 6) и приему с использованием их с известью на 8,5, 17,0 и 13,4% соответственно.

По овсу сохранялась такая же тенденция увеличения биогенности почвы, где активность проявили микробиологические препараты с азотными удобрениями — 23,6 млн КОЕ/г почвы. Действие микробных препаратов (вариант 5) незначительно уступало азот-

Таблица 1.

Показатели почвы в опыте с микробиологическими препаратами на посевах овса и кукурузы (всходы)

Вариант	МПА*	КАА	Актиномицеты	Грибы на среде Чапека
	млн КОЕ/ г почвы			тыс. КОЕ/ г почвы
Овес посевной				
Контроль (без удобрений и микробиологических препаратов)	5,0	9,40	1,40	20,5
Измельченная побочная продукция – фон	4,76	11,14	1,73	34,3
Фон + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции	6,95	14,60	2,05	42,7
Фон + известь 1,5 т/га	7,50	12,24	1,87	27,4
Фон + Трихоплант, СК + Биогор-Ж – агробиотехнология 1	6,84	13,58	1,77	38,6
Агротехнология 1 + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции – агробиотехнология 2	8,36	15,30	2,19	46,8
Агробиотехнология 1+ известь 1,5 т/га – агробиотехнология 3	9,10	13,16	2,24	33,6
НСР ₀₅	0,44	0,53	0,26	5,35
Кукуруза				
Контроль (без удобрений и микробиологических препаратов)	3,24	7,5	1,34	17,6
Измельченная побочная продукция – фон	4,70	9,27	1,58	30,4
Фон + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции	5,63	12,0	2,05	37,2
Фон + известь 1,5 т/га	7,15	11,61	1,94	25,5
Фон + Трихоплант, СК + Биогор-Ж – агробиотехнология 1	5,27	10,83	1,80	34,8
Агротехнология 1 + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции – агробиотехнология 2	6,8	12,64	1,98	39,0
Агробиотехнология 1+ известь 1,5 т/га – агробиотехнология 3	7,34	11,25	2,16	27,7
НСР ₀₅	0,38	0,60	0,32	3,41

Примечание. * МПА – аммонифицирующие микроорганизмы на мясопептонном агаре; КАА – амилалитические микроорганизмы на крахмало-аммиачном агаре; микромицеты (микроскопические грибы) на среде Чапека. То же в табл. 2, 3.

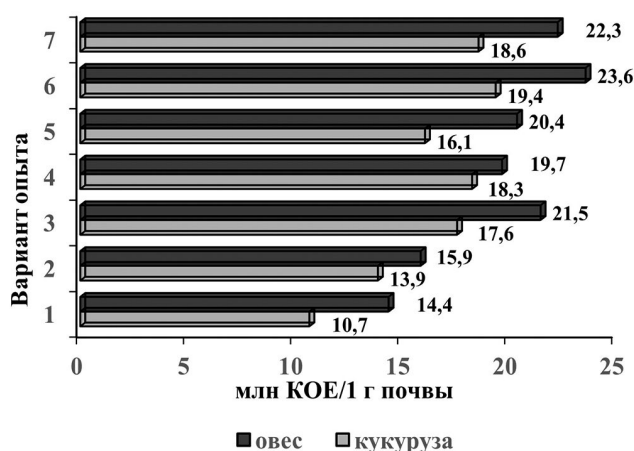


Рис. 1. Биогенность (МПА + КАА) почвы в фазе всходов, млн КОЕ / г почвы.

ным удобрениям (вариант 3) – на 5,1 и 8,5% варианту применения их с известью и совместному внесению азотных удобрений с Трихоплантом, СК и Биогором-Ж на 13,6%, но на 41,6% превышало контроль. На участке под овсом увеличилась биогенность почвы, по сравнению с почвой под кукурузой из-за преобладания в микробном ценозе микроорганизмов, потребляющих минеральные источники азота (рис. 1).

Главное во влиянии ассоциативных препаратов на биологическую активность чернозема типичного – изменение направленности микробиологических процессов трансформации органического вещества (Ктр.) в сторону развития процесса гумусообразования. По кукурузе максимальная активность трансформации

органического вещества была при совместном внесении микробиологических препаратов с известью, где коэффициент трансформации (Ктр.) превышал на 60,5% активность микробиологических препаратов и 20,4% совместное внесение их с азотными удобрениями, но активнее процесс трансформации в 1,7 раза проявился к контролю (рис. 2).

В почве на посевах овса наибольший коэффициент минерализации наблюдали в варианте с внесением побочной продукции (вариант 2) – 2,3. Высокий коэффициент трансформации отмечен в варианте использования побочной продукции с микробиологическими препаратами и известью – 15,4 (рис. 3).

К концу вегетации в фазе уборки на всех удобренных делянках содержание микроорганизмов в почве превышало контроль. В варианте с минеральным азотом совместно с Трихоплантом, СК и Биогором-Ж по кукурузе отмечено усиление развития микроорганизмов, участвующих в минерализации (КАА) гумусовых веществ на 28,7%, по сравнению с неудобренным участком (вариант 1) (табл. 2).

Использование азотных удобрений ускоряет разложение органических веществ, содержащихся в почве, особенно послеуборочных растительных остатков. Вариант с азотными удобрениями и побочной продукцией характеризовался также на 30,8% более интенсивным минерализационным процессом, по сравнению с контролем. Действие микробиологических препаратов (вариант 5) и внесение их с известью (вариант 7) имело стимулирующий эффект в разложении органики и превышало контроль на 23,3 и 24,7% соответственно.

Учет количества бактерий аммонификаторов под кукурузой позволяет утверждать о положительном

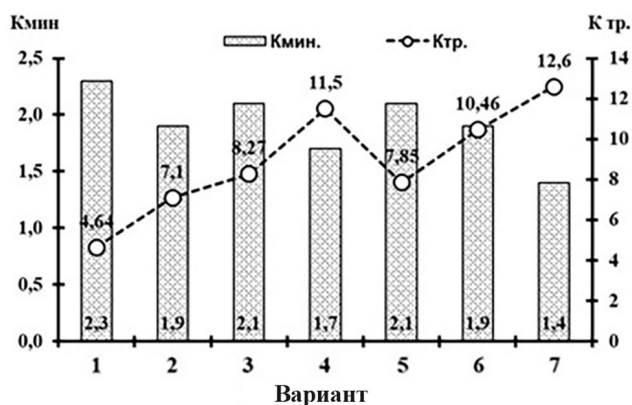


Рис. 2. Показатели интенсивности (Ктр. — коэффициент трансформации) и направленности микробиологической мобилизации азота (Кмин. — коэффициент минерализации) в почве под кукурузой.

влиянии ризобактерий на активность этой группы микроорганизмов, где вариант с внесением микробиологических препаратов Трихоплант, СК и Биогор-Ж превысил контроль на 16,2%. Комплексное внесение азотных удобрений с препаратами на 12 млн КОЕ / 1 г почвы, по отношению к контролю, также стимулировало развитие аммонифицирующих (МПА) микроорганизмов.

Совместное внесение микробиологических препаратов и азотных удобрений с побочной продукцией (вариант 6) обеспечивало развитие грибной микрофлоры, где содержание ее превысило контроль на 32,6%. Активность микромицетов в варианте совместного применения азотных удобрений с препаратами

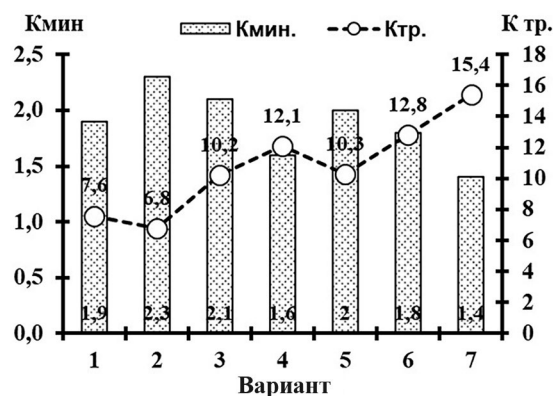


Рис. 3. Показатели интенсивности (Ктр. — коэффициент трансформации) и направленности микробиологической мобилизации азота (Кмин. — коэффициент минерализации) в почве под овсом.

была выше на 14,5 и 7,2%, по отношению к вариантам инокуляции микробиологическими препаратами (вариант 5) и внесению азотных удобрений с побочной продукцией (вариант 3) соответственно.

По овсу варианты внесения извести с побочной продукцией (вариант 4) и совместно с микробиологическими препаратами (вариант 7) обеспечили максимальную численность аммонифицирующих (МПА) микроорганизмов в почве, что превысило контроль на 74,6 и 80,9% (табл. 3).

Трихоплант, СК и Биогор-Ж увеличивали численность аммонифицирующих микроорганизмов на 49,2%, по сравнению с контролем, но по отношению к комплексному внесению микробиологических

Микробиологические показатели почвы в опыте с биопрепаратами в посевах кукурузы (уборка)

Таблица 2.

Вариант	МПА*	КАА	Актиномицеты	Грибы на среде Чапека
	млн КОЕ/г почвы			тыс. КОЕ/г почвы
Контроль (без удобрений и микробиологических препаратов)	7,4	15,0	1,84	40,4
Измельченная побочная продукция – фон	7,9	17,6	1,96	48,2
Фон + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции	10,8	20,7	2,05	50,0
Фон + известь 1,5 т/га	9,4	18,2	2,64	36,1
Фон + Трихоплант, СК + Биогор-Ж – агробиотехнология 1	8,6	18,5	2,41	46,8
Агротехнология 1 + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции – агробиотехнология 2	9,0	19,3	2,16	53,6
Агробиотехнология 1+ известь 1,5 т/га – агробиотехнология 3	10,3	18,7	3,05	43,5
НСР ₀₅	0,38	0,46	0,12	2,85

Микробиологические показатели почвы в опыте с биопрепаратами в посевах ярового овса (уборка)

Таблица 3.

Вариант	МПА*	КАА	Актиномицеты	Грибы на среде Чапека
	млн КОЕ/г почвы			тыс. КОЕ/г почвы
Контроль (без удобрений и микробиологических препаратов)	6,3	13,9	2,04	38,5
Измельченная побочная продукция – фон	8,4	16,7	1,88	53,0
Фон + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции.	10,5	19,8	2,42	60,7
Фон + известь 1,5 т/га	11,0	18,5	3,15	44,6
Фон + Трихоплант, СК + Биогор-Ж – агробиотехнология 1	9,4	19,3	2,60	51,3
Агротехнология 1 + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции – агробиотехнология 2	10,8	20,2	2,87	64,2
Агробиотехнология 1+ известь 1,5 т/га – агробиотехнология 3	11,4	17,6	3,30	55,4
НСР ₀₅	0,61	1,45	0,31	4,25

препаратов с азотными удобрениями и применению микробных препаратов с известью наблюдалось их снижение на 13 и 17,5% соответственно данным вариантам.

Улучшение условий корневого питания после внесения минерального азота с микробиологическими препаратами (вариант 6) в посевах овса активизировало деятельность микроорганизмов, произрастающих на среде КАА, что на 45,3% превышало контроль. Инокуляция микробиологическими препаратами (вариант 5) и азотными удобрениями (вариант 3) побочной продукции, по отношению к контролю, также стимулировала деятельность амилитической группы микроорганизмов на 38,8 и 42,4% соответственно.

Важную роль в процессе формирования потенциального плодородия отводят исследованиям по влиянию биопрепаратов на развитие микроорганизмов-утилизаторов пожнивных остатков. [11] Обнаружено, что микробные препараты стимулировали развитие группы микроорганизмов-актиномицетов, которые участвуют в более поздних стадиях минерализации органического вещества и разлагают соединения, недоступные другим бактериям и грибам.

Количество актиномицетов в ризосфере корней растений после обработки Трихоплантом, СК и Биогором-Ж превысило контроль, независимо от культур, что свидетельствует об оптимизации микробного ценоза в ризосфере в направлении вытеснения фитопатогенных микроорганизмов и освоения ниши для развития агрономически полезной микрофлоры. [7] Преобладающая концентрация микромицетов обнаружена в почве в вариантах совместного внесения биопрепаратов с азотными удобрениями – 64,2 тыс. КОЕ /г почвы, что превышало контроль на 66,7%.

Перед уборкой все факторы опыта (азотные удобрения, Трихоплант, СК + Биогор-Ж и известь), по отношению к контролю, независимо от культуры

оказали положительное действие на процесс иммобилизации (МПА/КАА) азотсодержащих соединений органического вещества почвы. Это способствовало закреплению внесенного минерального азота, содействуя его сохранению и аккумуляции в зоне корневой системы, где коэффициент трансформации превышал контрольный вариант.

К контролю по обеим культурам наблюдали увеличение активности процесса трансформации органического вещества. Максимальные значения по кукурузе отмечены в варианте с азотными удобрениями и побочной продукцией (вариант 3), где коэффициент трансформации (Ктр.) превышал на 31,2% активность микробиологических препаратов (вариант 5) и 23,3% вариант с комплексным внесением Трихопланта, СК и Биогора-Ж с азотными удобрениями (вариант 6). Микробиологические препараты с известью также обеспечивали повышение процесса трансформации органического вещества.

На опытном участке с овсом при обработке побочной продукции известью ускорялся процесс трансформации органического вещества, по отношению к вариантам с азотными удобрениями (вариант 3) на 15,6 и 31,2% с внесением микробиологических препаратов (вариант 5).

Засушливому периоду уборки культур (ГТК = 0,38) предшествовали благоприятные гидротермические условия в конце июля (ГТК = 1,12), совпавшие с фазой формирования и налива зерна, что способствовало процессу интенсивной трансформации органических соединений.

Реминерализация иммобилизованного азота позволяет более равномерно снабжать растения его усвояемыми формами и обеспечивать увеличение урожайности культур, что подтверждается результатами наших исследований. [2] По выходу зерна овса ярового и кукурузы наблюдали его увеличение по отношению к контролю в 1,5 и 2,0 раза соответственно, в зависимости от компонентов опыта.

Таблица 4.
Влияние агrobiотехнологий на отдельные показатели биологической активности ризосферы кукурузы и овса (уборка)

Вариант	Биогенность почвы, млн КОЕ/ г почвы	К мин. *	К тр.**
Кукуруза			
Контроль (без удобрений и микробиологических препаратов)	22,4	2,0	10,9
Измельченная побочная продукция – фон	25,5	2,2	11,5
Фон + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции	31,5	1,92	16,4
Фон + известь 1,5 т/га	27,6	1,94	14,4
Фон + Трихоплант, СК + Биогор-Ж – агrobiотехнология 1	27,1	2,2	12,5
Агротехнология 1 + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции – агrobiотехнология 2	28,3	2,1	13,3
Агrobiотехнология 1+ известь 1,5 т/га – агrobiотехнология 3	29,0	1,82	16,0
Овес яровой			
Контроль (без удобрений и микробиологических препаратов)	20,2	2,10	9,14
Измельченная побочная продукция – фон	25,1	1,98	12,6
Фон + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции	30,3	1,88	16,0
Фон + известь 1,5 т/га	29,9	1,62	18,5
Фон + Трихоплант, СК + Биогор-Ж агrobiотехнология 1	28,7	2,05	14,1
Агротехнология 1 + N ₁₀ кг д. в./т побочной продукции – агrobiотехнология 2	30,7	1,93	15,4
Агrobiотехнология 1+ известь 1,5 т/га – агrobiотехнология 3	28,6	1,60	17,2

Примечание. * К мин. – коэффициент минерализации почвы, ** К тр. – коэффициент трансформации органических соединений.

По сравнению с контролем все факторы опыта по кукурузе и овсу имели стимулирующий эффект в повышении трансформации органического вещества из-за увеличения общей биогенности почвы.

Наибольшая биогенность по кукурузе проявилась в варианте с внесением азотных удобрений по растительным остаткам (вариант 3) — 31,5 млн КОЕ/г почвы. Влияние известки как компонента опыта с микробиологическими препаратами (вариант 7) незначительно (на 7,9%) уступало варианту 3, но на 31,8% биогенность почвы превышала контрольный вариант. Действие биопрепаратов (вариант 5) было слабее азотных удобрений (вариант 3) и комплексного их использования с биопрепаратами (вариант 6) на 14,0 и 4,2% соответственно и превышало контроль на 32,4% (табл. 4).

По овсу наблюдали увеличение биогенности почвы при обработке послеуборочных остатков азотными удобрениями (вариант 3) и в комплексе с микробиологическими препаратами (вариант 6), где величины биогенности были равнозначны и на 50...52% соответственно превышали контроль. Общая численность амилотических (КАА) и аммонифицирующих (МПА) микроорганизмов в варианте с микробиологическими препаратами (вариант 5) по отношению к опытам с применением азотных удобрений (вариант 3) и использованием микробиологических препаратов на основе *Trichoderma* и *Lactobacillus* (вариант 6) незначительно уступала — на 5,3 и 6,5% соответственно, но на 42,1% была выше по сравнению с контролем (табл. 4).

Различия в микробиологической активности чернозема типичного в среднем за вегетацию кукурузы и овса, возможно, связаны с тем, что влажность почвы под овсом была выше на 2,8...5,3% и больше накапливалось негумифицированного органического вещества (на 0,80...2,45 т/га), служащего источником питания и развития микрофлоры, по сравнению с участком, занятым кукурузой, независимо от факторов опыта. [17]

Выводы. Таким образом, общая численность аммонифицирующих и амилотических микроорганизмов в почве под посевами овса с применением агробиотехнологии, в среднем за вегетацию, была на 8,2% выше, чем под кукурузой.

Наибольшая биогенность чернозема типичного выявлена при внесении микробиологических препаратов на основе *Trichoderma* и *Lactobacillus* с азотными удобрениями на фоне поверхностной заделки побочной продукции на удобрение, что в среднем за вегетацию превышало контроль на 43,9 и 57,2% соответственно по кукурузе и овсу.

Отмечено увеличение численности микроскопических грибов от действия всех факторов (микробиологические препараты, азотные удобрения и известка) опыта по отношению к контролю. Независимо от культуры, в среднем за вегетацию, максимальное значение микромицетов наблюдали в варианте совместного применения Трихопланта, СК и Биогора-Ж с минеральным азотом, но почва под посевами овса имела повышенное содержание грибной микрофлоры на 8,9 тыс. КОЕ/г почвы, по сравнению с посевами кукурузы.

Фаза уборки, независимо от культуры и факторов опыта, отличалась увеличением численности сапро-

фитной микрофлоры и микроскопических грибов, минерализационные процессы в почве под кукурузой протекали сильнее, а синтез органического вещества интенсивнее проходил под овсом. Инокуляция побочной продукции микробиологическими препаратами с известкой обеспечивала наибольшую величину коэффициента трансформации органического вещества, независимо от культуры.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Андронов Е.Е., Иванова Е.А., Першина Е.В. и др. Анализ показателей почвенного микробиома в процессах, связанных с почвообразованием, трансформацией органического вещества и тонкой регуляцией вегетационных процессов // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. № 80. С. 83–94.
2. Гамзиков Г.П. Агрохимия азота в агроценозах. Новосибирск: РАСХН, Сибирское отделение, 2013. 790 с.
3. Гвоздева М.С., Волкова Г.В. Оценка эффективности биологических протравителей против семенной и почвенной инфекции на озимой пшенице // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 7. С. 43–48.
4. Дзюин А.Г. Влияние соломы в сочетании с минеральными, органическими и сидеральными удобрениями на биологическую активность почвы // Агрохимия. 2022. № 11. С. 72–79. <https://doi.org/10.31857/S0002188122110059>
5. Емцев В.Т., Мишустин Е.Н. Микробиология. 5-е изд., перераб. и доп. М. Дрофа, 2005. 445 с.
6. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. С. 48.
7. Пусенкова Л.И., Ильясова Е.Ю., Ласточкина О.В. и др. Изменение видового состава микрофлоры ризосферы и филлосферы сахарной свеклы под влиянием биопрепаратов на основе эндофитных бактерий и их метаболитов // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1205–1213.
8. Русакова И.В. Изучение экологического состояния микробного сообщества дерново-подзолистой почвы при длительном применении соломы и минеральных удобрений // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 6. С. 120–124.
9. Терехов А.С., Зенова Г.М., Кожевин П.А., Михайлова Н.В. Мультистратное тестирование популяций почвенных актиномицетов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17, почвоведение. 2011. № 2. С. 10–13.
10. Титова В.И., Козлов А.В. Методы оценки функционирования микробиоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества / научно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородская с.-х. академия, 2012. 64 с.
11. Фаизова В.И., Цховребов В.С., Лысенко В.Я. и др. Применение микробных препаратов на черноземе обыкновенном в зоне неустойчивого увлажнения Центрального Предкавказья. // Земледелие. 2020. № 3. С. 27–29.
12. Хамова О.Ф., Тукмачева Е.В., Шулико Н.Н. Влияние применения минеральных удобрений, соломы и инокуляция семян на микрофлору ризосферы озимой пшеницы и ее урожайность. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020. № 6 (188). С. 49–58.
13. Чевердин А.Ю. Влияние биопрепаратов на основе ассоциативных микроорганизмов на плодородие чернозема обыкновенного и урожайность ячменя в ЦЧР / Дисс. на соискание уч. ст. канд. с.-х наук 06.01.01. — общее земледелие, растениеводство. Каменная Степь, 2021. 167 с.

14. Черепухина И.В., Безлер Н.В., Колесникова М.В. Зависимость эффективности использования соломы зерновых культур с дополнительными компонентами от погодных условий года // *Агрохимия*. 2019. № 6. С. 64–71.
15. Юмашев Х.С., Захарова И.А. Микробиологическая активность выщелоченного чернозема при различных способах утилизации соломы // *Платородие*. 2018. № 2. С. 33–35.
16. Emelyanov S.A., Mandra Y.A., Gudiev et al. Effekts of Anthropogenic Environmental and Food Safety // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7. No.6. P. 718–724.
17. Fliessbach A., Mäder P. Microbial biomass and sizedensity fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems // *Soil Biol. Biochem.* 2000. V. 32. No. 6. P. 757–768.
18. Schulz S., Brankatschk R., Dumig A. et al. The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation // *Biogeosciences*. 2013. V. 10. P. 3983–3996.
8. Rusakova I.V. Izuchenie ekologicheskogo sostoyaniya mikrobnogo soobshchestva dernovo-podzolistoj pochvy pri dlitel'nom primeneni solomy i mineral'nyh udobrenij // *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2018. № 6. S. 120–124.
9. Terekhov A.S., Zenova G.M., Kozhevin P.A., Mihajlova N.V. Mul'tisubstratnoe testirovanie populyacij pochvennyh aktinomicetov // *Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 17, pochvovedenie*. 2011. № 2. S. 10–13.
10. Titova V.I., Kozlov A.V. Metody ocenki funkcionirovaniya mikrobiotsenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformacii organicheskogo veshchestva / nauchno-metodicheskoe posobie. Nizhnij Novgorod: Nizhegorodskaya s.-h. akademiya, 2012. 64 s.
11. Faizova V.I., Ckhovrebov V.S., Lysenko V.Ya. i dr. Primenenie mikrobnih preparatov na chernozeme obyknovennom v zone neustojchivogo uvlazhneniya Central'nogo Predkavkaz'ya. // *Zemledelie*. 2020. № 3. S. 27–29.
12. Hamova O.F., Tukmacheva E.V., Shuliko N.N. Vliyanie primeneniya mineral'nyh udobrenij, solomy i inokulyatsiya semyan na mikrofloru rizosfery ozimoy pshenicy i ee urozhajnost'. // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020. № 6 (188). S. 49–58.
13. Cheverdin A.Yu. Vliyanie biopreparatov na osnove associativnyh mikroorganizmov na plodorodie chernozema obyknovennogo i urozhajnost' yachmenya v CChR / Diss. na soiskanie uch. st. kand. s.-h nauk 06.01.01. — obshchee zemledelie, rastenievodstvo. Kamennaya Step', 2021. 167 s.
14. Cherepukhina I.V., Bezler N.V., Kolesnikova M.V. Zavisimost' effektivnosti ispol'zovaniya solomy zernovykh kul'tur s dopolnitel'nymi komponentami ot pogodnykh uslovij goda // *Agrohimiya*. 2019. № 6. S. 64–71.
15. Yumashev H.S., Zaharova I.A. Mikrobiologicheskaya aktivnost' vyshchelochennogo chernozema pri razlichnykh sposobakh utilizatsii solomy // *Plodorodie*. 2018. № 2. S. 33–35.
16. Emelyanov S.A., Mandra Y.A., Gudiev et al. Effekts of Anthropogenic Environmental and Food Safety // *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7. No.6. P. 718–724.
17. Fliessbach A., Mäder P. Microbial biomass and sizedensity fractions differ between soils of organic and conventional agricultural systems // *Soil Biol. Biochem.* 2000. V. 32. No. 6. P. 757–768.
18. Schulz S., Brankatschk R., Dumig A. et al. The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation // *Biogeosciences*. 2013. V. 10. P. 3983–3996.

REFERENCES

1. Andronov E.E., Ivanova E.A., Pershina E.V. i dr. Analiz pokazatelej pochvennogo mikrobioma v processah, svyazannyh s pochvoobrazovaniem, transformaciej organicheskogo veshchestva i tonkoj regulyatsiej vegetacionnyh processov // *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*. 2015. № 80. S. 83–94.
2. Gamzikov G.P. Agrohimiya azota v agrocenozah. Novosibirsk: RASHN, Sibirskoe otdelenie, 2013. 790 s.
3. Gvozdeva M.S., Volkova G.V. Ocenka effektivnosti biologicheskikh protiravitelej protiv semennoj i pochvennoj infekcii na ozimoy pshenice // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020. T. 34. № 7. S. 43–48.
4. Dzyuin A.G. Vliyanie solomy v sochetanii s mineral'nymi, organicheskimi i sideral'nymi udobreniyami na biologicheskuyu aktivnost' pochvy // *Agrohimiya*. 2022. № 11. S. 72–79. <https://doi.org/10.31857/S0002188122110059>
5. Emcev V.T., Mishustin E.N. Mikrobiologiya. 5-e izd., pererab. i dop. M. Drofa, 2005. 445 s.
6. Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Biodiagnostika pochvy: metodologiya i metody issledovanij. Rostov-na-Donu: Izdatel'stvo Yuzhnogo federal'nogo universiteta, 2012. S. 48.
7. Pusenkova L.I., Il'yasova E.Yu., Lastochkina O.V. i dr. Izmenenie vidovogo sostava mikroflory rizosfery i fillosfery saharnoj svekly pod vliyaniem biopreparatov na osnove endofitnykh bakterij i ih metabolitov // *Pochvovedenie*. 2016. № 10. S. 1205–1213.

Поступила в редакцию 24.04.2024

Принята к публикации 08.05.2024