

УДК 628.473.2

DOI 10.5281/zenodo.10389791

Ускоренная переработка отходов животноводства с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах

Ржевская В. С.¹, Омельченко А. В.¹, Бугара И. А.¹, Омельченко С. О.^{1,2}

¹ Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, Россия
viktoriyar45@mail.ru, omelchenko_tnu@mail.ru, bia.05@mail.ru

² Крымский республиканский институт постдипломного педагогического образования
Симферополь, Россия
svet.omelchenko@mail.ru

Представлены результаты исследований процесса компостирования отходов животноводства с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной (смешанной с сорбентом – биочаром) формах. Установлена роль погодных условий в процессе компостирования отходов животноводства. Использование микробного консорциума молочнокислых бактерий, микроскопических и дрожжевых грибов в суспензионной и иммобилизованной формах ускоряло процесс переработки отходов животноводства, способствовало уменьшению объема компостируемой массы на 50–70 %, устранению запаха на 5 сутки и изменению цвета отходов животноводства на 17 сутки, в то время как в контрольном варианте, такой же результат был отмечен через 10 месяцев. Компост, полученный с микробным консорциумом, по содержанию токсичных элементов, а также ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям не превышает ПДК, а по содержанию органического вещества и NPK соответствует требованиям ГОСТ 33930-2016. Внесение микробного консорциума ускоряло процесс минерализации органического вещества и способствовало увеличению содержания общего азота на 21,6–25,9 %, по сравнению с контролем. При использовании иммобилизованной формы консорциума микроорганизмов в готовом компосте выявлено увеличение содержания аммиачного азота в 1,6 раз, в то время как в контрольном варианте аммиачный азот не обнаружен. Форма внесения микробного консорциума оказывала влияние на содержание фосфора и калия. При использовании суспензионной формы содержание фосфора на 2,2 %, а калия на 5,3 % выше, чем в контроле, а иммобилизованной – на 15,7 % и 8,8 % соответственно.

Ключевые слова: побочные отходы животноводства, переработка органических отходов, микробный консорциум, компостирование, суспензионная и иммобилизованная форма препарата.

ВВЕДЕНИЕ

Переработка побочных продуктов животноводства обусловлена их негативным влиянием как источника вредных выбросов на атмосферу, грунтовые воды, почву. Эффективным и доступным подходом к переработке органических отходов является компостирование с внесением микробных препаратов. Использование микроорганизмов приводит к получению компоста, внесение которого повышает уровень ферментативной активности почвы, активизирует микробный ценоз, расширяет видовой состав почвенной микрофлоры (Черданцева, Гаврилова, 2016).

Микробные препараты, используемые для переработки органических отходов, в большинстве случаев представлены в виде двух форм – жидкой и сухой (Рассолов и др., 2015). Жидкие микробные препараты являются суспензией, включающей микроорганизмы и их метаболиты (Теучеж, 2017; Чехунов и др., 2020). Сухие препараты могут быть получены смешиванием суспензии микроорганизмов с сорбентом, например, диоксидом кремния (Ходак и др., 1988), пористым носителем (водорастворимой бумагой) (Миرونин и др., 2020) и другие. Перспективным подходом к получению микробных препаратов является иммобилизация на твердом носителе. Клетки, иммобилизованные на твердом носителе, или в его внутренних структурах, менее подвержены отрицательному действию окружающей среды по сравнению со свободными микроорганизмами, что может повысить их жизнеспособность и эффективность.

Известны различные твердые носители для микроорганизмов, отличающиеся по своей структуре и свойствам: наличием реакционноспособных функциональных групп, легкости вступления в различные химические реакции, гидрофильности и так далее. Для иммобилизации клеток микроорганизмов используются такие неорганические носители, как монтмориллонит, палыгорскит, пористый фарфор, слюда, диатомит, размолотая пемза, пористое стекло, стеклянные шарики, керамические носители, древесная щепа, волокна из целлюлозы и ее производных, активированный древесный уголь, искусственные полимеры и другие. Кроме того, использование в качестве матриц для иммобилизации таких материалов как альгинат, пектат, каррагинин, к-каррагинин, хитозан, агар и синтетических полимеров (полиакриламида, поливинилхлорида, полиуретана) позволяет провести иммобилизацию в очень мягких условиях, не нарушая целостности живых клеток (Демаков и др., 2008; Крякунова, Канарский, 2012).

Одним из эффективных твердых носителей для иммобилизации микроорганизмов является биочар (биоуголь), который получают путём пиролиза древесных остатков, сельскохозяйственных и пищевых отходов (Sushkova et al., 2021). Биочар имеет пористую углеродсодержащую структуру, обладающую повышенной способностью удерживать различные вещества как питательные, так и загрязняющие, а также микроорганизмы или ферменты (Jatav, 2021).

Цель исследований – изучить эффективность использования суспензионной и иммобилизованной форм внесения микробного консорциума для ускорения процесса компостирования отходов животноводства.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для подготовки суспензионной и иммобилизованной форм микробного консорциума использовали микроорганизмы *Lactobacillus parabuchneri* B-13109, *Lactobacillus harbinensis* B-13111, *Candida ethanolica* Y-4357, *Pseudoclavibacter helvolus* B-13899, *Rhodospseudomonas palustris* B-14279, *Trichoderma asperellum* F-1527, которые депонированы во Всероссийской коллекции промышленных штаммов микроорганизмов (г. Москва). Культивирование микроорганизмов проводили на соответствующих питательных средах: молочнокислые бактерии – на среде MRS (Strafella et al., 2021), грибы – на среде Сабуро, штаммы *P. helvolus* B-13899 и *R. palustris* B-14279 – на жидкой среде Ормеруда (Ormerod, 1961).

Микробный консорциум получали путем совместного культивирования молочнокислых бактерий и дрожжей в жидкой питательной среде MRS в биореакторе Minifors 2 объемом 4 л (Ifors НТ, Швейцария) при температуре 32 °С и 50 об/мин в течение 3-х суток. Учет численности микроорганизмов в консорциуме проводили методом предельных разведений. Биологическая концентрация бактерий микробного консорциума составляла $4,8 \cdot 10^9$ КОЕ.

Мицелиальный гриб культивировали на скошенном агаре Сабуро 14 суток, смыв проводили стерильной дистиллированной водой. Смыв гриба, содержащего смесь спор и фрагментов мицелия ($1,7 \cdot 10^9$ КОЕ/мл), в количестве 1 мл вносили в 100 мл суспензии, содержащей микробный консорциум молочнокислых бактерий и дрожжей.

В качестве твердого носителя для иммобилизации микроорганизмов использовали биочар, который был получен из шелухи подсолнечника путём пиролиза (Sushkova et al., 2021).

Для иммобилизации клеток, микроорганизмы, входящие в консорциум, культивировали до наступления стационарной фазы роста. Далее из 4 л питательной среды путем центрифугирования при 5000 g, температуре +4 °С и времени 30 мин клетки отделяли и смешивали со стерильным биочаром в количестве 10 г. Биомассу микробных клеток с биочаром высушивали в термостате при 28 °С в течение 5 дней.

Эффективность использования суспензионной и иммобилизованной форм внесения консорциума микроорганизмов проводили на примере компостирования побочных продуктов животноводства – подстилочном навозе крупного рогатого скота, содержащем 5–10 % соломы. Отходы животноводства были получены от коров, получавших в питание силос.

Компостирование отходов животноводства проводили на территории учебно-научного технологического комплекса животноводческого центра Института Агротехнологическая академия (структурное подразделение) «КФУ им. В.И. Вернадского», Симферопольский район, с. Солнечное, координаты 45.041257, 34.08553.

Для этого из свежих отходов крупного рогатого скота были сформированы 3 кагата (бурта) высотой до 1 м, шириной 1,5 м и длиной от 3 м до 4 м, объем одного кагата – 10 м³. Один бурт оставили контрольным, во второй и третий вносили микробный консорциум соответственно, в виде суспензионной (1 л на 10 тонн) и иммобилизованной формы (10 г на 10 тонн). Каждый кагат после внесения микроорганизмов тщательно перемешали.

Эксперимент проводили в течение девяти недель. Ежедневно фиксировали максимальную дневную и ночную температуру воздуха, а также измеряли температуру в буртах в трех точках. Измерение температуры компостируемой массы проводили ртутным термометром до 100 °С. Данные о влажности воздуха и количестве осадков получали из открытых источников.

Отбор проб отходов животноводства проводили согласно ГОСТ Р 58595 (ГОСТ Р 58595, 2019). Промежуточный контроль процесса компостирования проводили по учету численности микроорганизмов-аммонификаторов, использующих органические формы азота и микроскопических грибов (ГОСТ Р 53218, 2008). Определение массовой доли влаги компостируемой массы проводили согласно ГОСТ 26718-85 (ГОСТ 26718, 1986).

Начальный и конечный контроль качества отходов животноводства и готового компоста проводили по следующим параметрам: массовая доля общего и аммиачного азота, общего фосфора и калия (на абсолютно сухое вещество и натуральную влажность), содержание гельминтов и санитарно-значимых микроорганизмов. Показатели, полученные по указанным параметрам, сравнивали с данными до начала процесса компостирования (то есть отходами животноводства до внесения микроорганизмов). Определение содержания свинца, кадмия, ртути определяли по ГОСТ Р 53218-2008 (ГОСТ Р 53218, 2008). Наличие жизнеспособных яиц и гельминтов проводили по ГОСТ Р 54001-2010 (ГОСТ Р 54001, 2010) цист кишечных патогенных простейших – ГОСТ Р 57782-2017 (ГОСТ Р 57782, 2017), личинок и куколок синантропных мух – ГОСТ Р 58138-2018 (ГОСТ Р 58138, 2018). Определение уровня токсичных элементов в компостируемой массе, ветеринарно-санитарных и гигиенических показателей проводили согласно ГОСТ 33830-2016 (ГОСТ 33830, 2016).

Статистическую обработку данных проводили по стандартным методикам (Trukhacheva, 2012), а также с использованием программы Microsoft Excel® 2016.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс компостирования навоза крупного рогатого скота проходил в условиях благоприятного температурного режима (рис. 1а). По данным наблюдений, фактическая температура в ноябре составила плюс 8,8 °С, в декабре минус 5,4 °С. Отклонение от нормы: в октябре составило плюс 2,4 °С, в декабре составило плюс 2,8 °С.

Количество осадков в течение ноября-декабря оказало негативное влияние на процесс компостирования. При оптимальной влажности 60–70 % компостируемого материала, в исследуемый период влажность воздуха колебалась от 81 % до 93 % с количеством выпавших осадков от 0,6 мм до 25,3 мм (рис. 1б, 1в). В декабре месяце средняя норма выпадения осадков составляет 43 мм, а выпало 45 мм, что составляет 103 % от нормы. Данный период является наименее благоприятным для процесса компостирования органических отходов. Продолжительные дожди, со второй по восьмую недели эксперимента, привели к переувлажнению компоста, а отсутствие ветра способствовало сохранению влаги в буртах. В течение всего процесса компостирования скорость ветра была низкая и составляла 1–2 м/с и влага не выдувалась из бурта. Динамика изменения скорости ветра в течение эксперимента представлена на рисунке 1г.

Ускоренная переработка отходов животноводства с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах

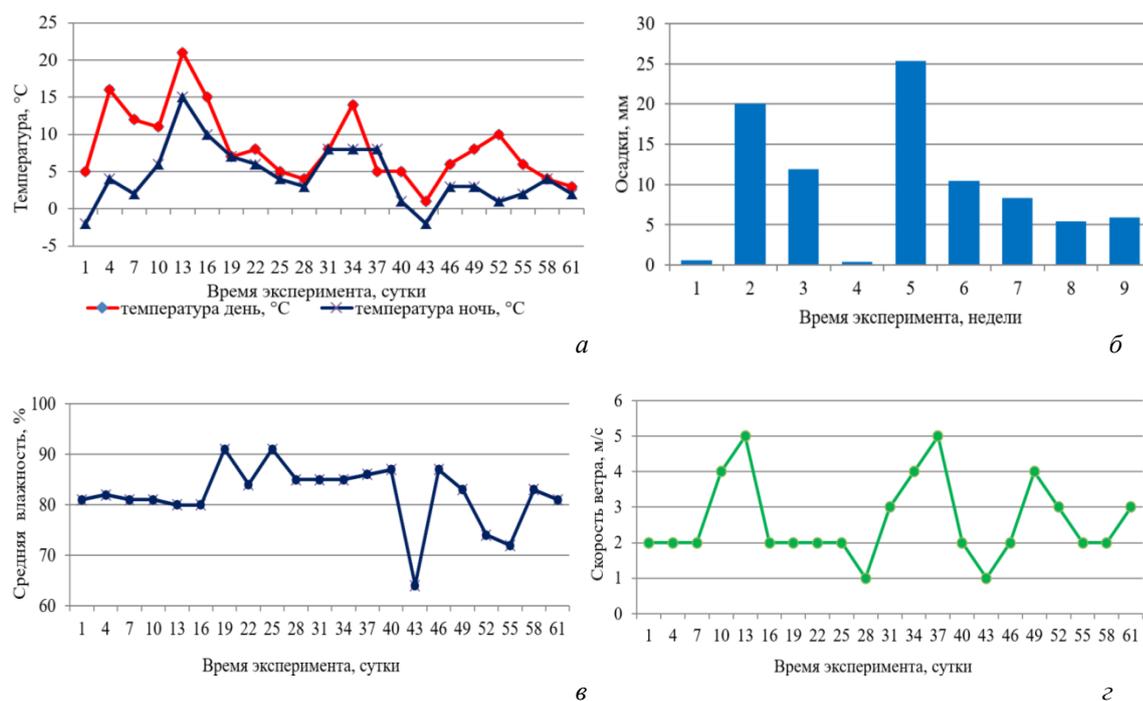


Рис. 1. Погодные условия во время проведения процесса компостирования отходов животноводства

а – температурный режим, *б* – количество осадков, *в* – средняя влажность воздуха, *г* – скорость ветра.

Влажность компостируемой массы, является одним из важнейших факторов, определяющих скорость процесса компостирования. В процессе компостирования питательные вещества, растворяясь в воде, становятся доступными для микроорганизмов. В начале компостирования, влажность навоза составляла 80 % и менялась в процессе компостирования, что отражалось на внешнем состоянии компоста (рис. 2).

Обилие осадков в течение второй и третьей недель эксперимента способствовало повышению влажности компостируемой массы, которая к пятой неделе эксперимента достигала 90 %. Это приводило к слипанию компоста в однородную массу, заполнению пустот, ограничению микроорганизмам доступа к кислороду и тем самым оказывало негативное влияние на развитие микромицетов. Снижению избыточной влажности может



Рис. 2. Внешний вид компостируемой массы отходов животноводства на пятой неделе эксперимента

а – вода стекает с буртов, *б* – отходы животноводства, пропитанные дождевой водой.

способствовать испарению или выдуванию, однако низкая скорость ветра в период проведения эксперимента не оказывала значительного влияния. В компостируемых отходах животноводства содержалось большое количество соломы – материала устойчивого к высокой влажности. Наличие соломы нивелировало воздействие избыточной влажности и способствовало сохранению воздуха, необходимого для роста микромицетов.

Таким образом, во время процесса компостирования температурный режим был благоприятный для развития микроорганизмов в компостируемой массе, а обилие осадков стало фактором, лимитирующим развитие микроскопических грибов.

Для анализа микробной обсемененности компоста в опытных и контрольных вариантах, использовали показатель – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Результаты исследования представлены в таблице 1.

Таблица 1

Количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов и микроскопических грибов при компостировании отходов животноводства

Варианты опыта	Форма внесения микробного консорциума	Даты проведения исследования, сутки					
		1	5	12	30	44	64
Количество бактерий на питательной среде МПА, КОЕ							
контроль		1,3·10 ^{6*}	2,6·10 ⁶	1,4·10 ⁶	7,3·10 ⁵	4,8·10 ⁶	6,2·10 ⁵
микробный консорциум	суспензионная		1,7·10 ⁷	8,1·10 ⁶	1,9·10 ⁶	1,1·10 ⁸	3,3·10 ⁷
	иммобилизованная		2,1·10 ⁷	5,7·10 ⁶	1,4·10 ⁶	2,6·10 ⁷	7,3·10 ⁶
Количество микромицетов на питательной среде Чапека, КОЕ							
контроль		4,2·10 ^{3*}	4,7·10 ³	1,4·10 ³	2,9·10 ²	4,3·10 ³	4,5·10 ³
микробный консорциум	суспензионная		2,9·10 ⁴	6,9·10 ³	8,1·10 ³	5,2·10 ⁴	2,7·10 ⁵
	иммобилизованная		1,5·10 ⁴	5,7·10 ³	7,5·10 ³	4,9·10 ⁴	1,7·10 ⁵

Примечание к таблице. * – отбор проб для проведения микробиологического анализа проводили до внесения микробного консорциума.

Как в опытных вариантах, так и в контрольном, были обнаружены преимущественно бактерии, количество которых преобладало над микроскопическими грибами. В результате изучения КМАФАнМ было показано, что компостирование отходов животноводства с микробным консорциумом в суспензионной и иммобилизованной формах, способствовало увеличению количества высеянных микроорганизмов по сравнению с контрольным вариантом.

В ходе процесса компостирования отходы животноводства изменили внешний вид. Объем компостируемой массы в контрольном варианте уменьшился на 30–40 %, а в опытных вариантах опыта на 50–70 %. Цвет компостируемой массы изменился на 17 сутки, став более светлым. Специфический запах отходов животноводства значительно снизился на 3 сутки, а на 5 сутки – отсутствовал.

В процессе компостирования солома подвергалась разложению (рис. 3). На 45 сутки эксперимента в контрольном варианте количество и размер соломы визуально уменьшился, а в опытных вариантах наблюдались единичные мягкие соломины в небольшом количестве.

В контрольном варианте опыта через 10 месяцев количество соломы значительно уменьшилось. В более глубоких слоях компостируемой массы было обнаружено незначительное количество почерневшей соломы, в то время как в опытных вариантах – солома не обнаружена.

Изменение внешнего вида отходов животноводства в процессе компостирования показало, что использование микробного консорциума приводило к ускоренному разложению соломы за 1,5 месяца, в то время как в контрольном варианте, такой же результат



Рис. 3. Внешний вид компостируемой массы отходов животноводства

a – отходы животноводства в день закладки опыта; *б* – контрольный вариант (45 суток эксперимента); *в* – вариант с внесением микробного консорциума в суспензионной форме (45 суток эксперимента); *z* – вариант с внесением микробного консорциума в иммобилизованной форме (45 суток эксперимента).

был отмечен через 10 месяцев. Значительных отличий в скорости разложения соломы при использовании микробного консорциума в суспензионной или иммобилизованной форме не отмечено.

Одним из перспективных и экологически целесообразных направлений использования отходов животноводства является получение на их основе органоминеральных удобрений с заданными физико-химическими характеристиками. В удобрениях такого типа достигается равномерное распределение основных питательных веществ, что в значительной степени повышает их агрохимическую эффективность. Применение в сельском хозяйстве удобрений, полученных из органических отходов животноводства, содержащих фосфор, азот и калий, оказывает положительное влияние на почву и растения.

Результаты анализа химического состава отходов животноводства и компоста по содержанию азота, фосфора и калия (NPK), полученного с использованием микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах приведены в таблице 2.

По содержанию NPK и органического вещества полученный компост соответствует ГОСТу. На 45 суток компостирования в опытных вариантах содержание органического вещества уменьшилось по сравнению с контролем на 1,0–2,4 %, что связано с процессами минерализации. В процессе компостирования в контрольном бурте содержание общего азота снизилось на 6 %, а опытных вариантах – увеличивалось на 21–25 % (рис. 4).

Такая же зависимость отмечена и для аммиачного азота – на 45 суток в контрольном бурте NH_4^+ не обнаружен, что связано с его летучестью. В опытных вариантах содержание аммиачного азота составляет 0,039–0,074 %, показатели иммобилизованной формы микробного консорциума превысили содержание NH_4^+ в начале опыта в 1,6 раз.

В процессе компостирования в контрольном бурте содержание общего фосфора и калия увеличилось на 20,1 % и 1,3 % соответственно, а в опытных вариантах содержание данных элементов зависело от формы внесения микроорганизмов. Так, использование микробного консорциума в суспензионной форме увеличило содержание фосфора на 2,2 %, калия на 5,3 %, по сравнению с контролем, а иммобилизованной – на 15,7 % и 8,8 % соответственно.

Таким образом, содержание NPK в готовом компосте выше, чем в контрольном варианте опыта и не зависит от формы внесения микробного консорциума.

Таблица 2

Массовая доля NPK в отходах животноводства и готовом компосте на абсолютно сухое вещество, %

Показатели	Начало опыта (1 сутки)	Окончание опыта (45 сутки)			ГОСТ 33830-2016
		контроль	форма внесения микробного консорциума		
			суспензионная	иммобилизованная	
Массовая доля органического вещества	75,6	84,3	82,3	80,9	не менее 50
Массовая доля азота общего	2,22	2,08	2,53	2,62	0,3
Массовая доля аммиачного азота	0,045	0,00	0,039	0,074	-
Массовая доля общего фосфора в пересчете на P ₂ O ₄	1,06	1,34	1,37	1,55	0,2
Массовая доля калия общего в пересчете на K ₂ O	2,23	2,26	2,38	2,46	0,2

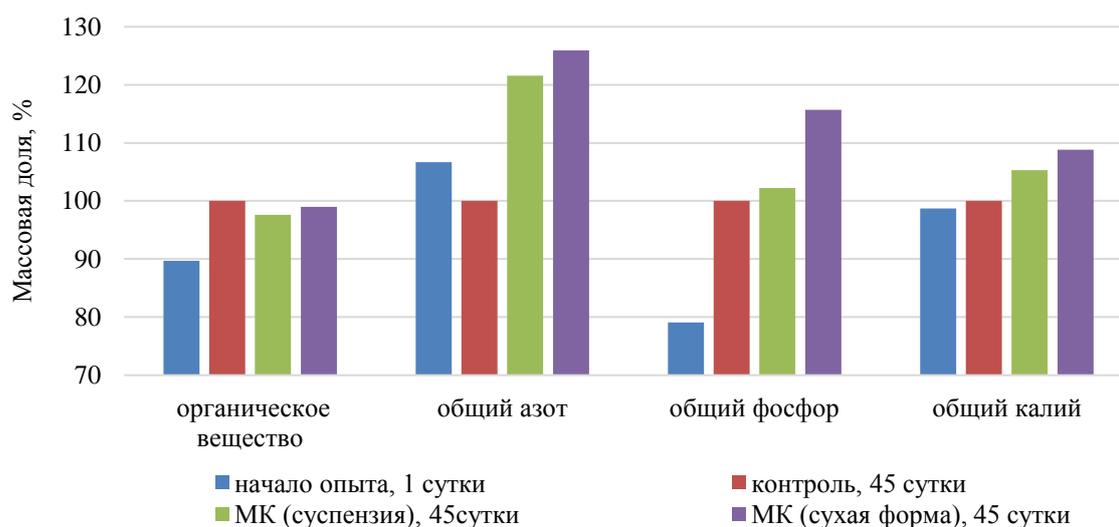


Рис. 4. Массовая доля NPK в отходах животноводства

Проведённые нами исследования по определению уровня токсичных элементов в компостируемой массе отходов животноводства показали, что массовая доля примесей исследуемых элементов в компосте не превышает ПДК (табл. 3). Зависимость содержания токсичных элементов от формы внесения микробного консорциума не выявлена.

По ветеринарно-санитарным и гигиеническим характеристикам компостируемая масса отходов животноводства соответствовала требованиям ГОСТ 33830-2016 не зависимо от формы внесения микробного консорциума (табл. 4).

В готовом компосте, полученном с использованием микробного консорциума, не обнаружено патогенных и болезнетворных микроорганизмов, жизнеспособных яиц, личинок гельминтов, нематод, а также личинок и куколок синантропных мух. Энтеробактерии были обнаружены только в контрольном варианте, как в начале опыта, так и на 45 сутки компостирования.

Таблица 3

Массовая концентрация примесей токсичных элементов на абсолютно сухое вещество
в отходах животноводства, мг/кг (валовая форма)

Показатели	Начало опыта (1 сутки)	Окончание опыта (45 сутки)			ГОСТ 33830- 2016
		контроль	форма внесения микробного консорциума		
			суспензионная	иммобилизованная	
Свинец	0,70	0,65	0,64	0,64	130,0
Кадмий	0,021	0,02	0,02	0,011	2,0
Ртуть	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	не обнаружено	2,1
Мышьяк	0,75	0,82	0,64	0,73	10,0

Таблица 4

Ветеринарно-санитарный и гигиенический анализ компостируемой массы
отходов животноводства

Варианты опыта			Наличие болезнетворных микроорганизмов, клеток/г	
			сальмонеллы	энтерококки
Начало опыта (1 сутки)			не выделены	1000
Окончание опыта (45 сутки)	контроль		не выделены	1000
	форма внесения микробного консорциума	суспензионная	не выделены	не выделены
		иммобилизованная	не выделены	не выделены

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено влияние погодных условий на процесс компостирования отходов животноводства. Температурный режим в ноябре-декабре был благоприятным для развития микроорганизмов в компостируемой массе, а обилие осадков и низкая скорость ветра оказали негативное влияние и лимитировали развитие микроскопических грибов.

Использование микробного консорциума в суспензионной и иммобилизованной формах приводило к ускорению процесса переработки отходов животноводства, уменьшению объема компостируемой массы на 50–70 %, по сравнению с 30–40 % в контрольном варианте. Устранение запаха наблюдалось на 5 сутки, а изменение цвета отходов – на 17 сутки, в то время как в контрольном варианте, такой же результат был отмечен через 10 месяцев.

Показано, что микробный консорциум ускорял процесс минерализации органического вещества, в результате чего содержание общего азота увеличивалось на 21,6–25,9 %, по сравнению с контролем.

Компост, полученный при внесении микробного консорциума, по содержанию токсичных элементов, а также ветеринарно-санитарным и гигиеническим показателям не превышал ПДК, а по содержанию органического вещества и NPK соответствовал требованиям ГОСТ 33930-2016.

Форма внесения микробного консорциума оказывала влияние на содержание аммиачного азота, фосфора и калия. Использование для компостирования микробного консорциума в суспензионной форме повышало содержание фосфора на 2,2 %, а калия на 5,3 % по сравнению с контролем. В готовом компосте в контрольном варианте опыта, аммиачного азота не обнаружено, в то время как при использовании консорциума микроорганизмов в иммобилизованной форме, выявлено увеличение содержания аммиачного азота в 1,6 раз, в сравнении с началом опыта, а содержание фосфора и калия увеличивалось на 15,7 % и 8,8 %.

Исследование выполнено в рамках реализации проекта Приоритет 2030 Г/2022/2 «Разработка ускоренной технологии переработки отходов птицеводства и животноводства с использованием микробного консорциума и оценка перспектив использования компоста в сельском хозяйстве».

Список литературы

- ГОСТ 26718-85 Удобрения органические. Методы анализа. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам. – 1986. – 6 с.
- ГОСТ Р 58595-2019 Почвы. Отбор проб. – М.: Стандартинформ, 2019. – 5 с.
- ГОСТ Р 33830-2016 Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2020. – 20 с.
- ГОСТ Р 53218-2008 Удобрения органические. Атомно-абсорбционный метод определения содержания тяжелых металлов. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.
- ГОСТ Р 54653-2011 Удобрения органические. Методы микробиологического анализа – М.: Стандартинформ, 2012. – 24 с.
- ГОСТ Р 57782-2017 Удобрения органические. Методы паразитологического анализа. Методы определения ооцист и цист простейших. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.
- ГОСТ Р 58138-2018 Удобрения органические. Методы паразитологического анализа. Методы определения личинок синантропных мух. – М.: Стандартинформ, 2018. – 16 с.
- ГОСТ Р 54001-2010 Удобрения органические. Методы гельминтологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2020. – 12 с.
- Демаков, В. А., Максимова Ю. Г., Максимов А. Ю. Иммунизация клеток микроорганизмов: биотехнологические аспекты // Биотехнология. – 2008. – № 2. – С. 30–45.
- Крякунова Е. В., Канарский А. В. Иммунизация микроорганизмов и ферментов // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – Т. 15, № 17. – С. 189–194.
- Миронин А. В., Туманов А. С., Тетерин В. В., Янов Д. С., Филиппов А. В.: Пат. № 2738396 С1, Российская Федерация. Способ получения сухих бактериальных препаратов. Патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский институт» Министерства обороны Российской Федерации; заявл. 16.01.2020; опубл. 11.12.2020. Бюл. – № 35. – 8 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. – 15 с.
- Рассолов С. Н., Багно О. А., Беспоместных К. В. Биологический способ утилизации свиного навоза // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 11. – С. 220–225.
- Теучеж А. А. Технология ускоренной переработки бесподстилочного свиного навоза в органическое удобрение // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 65. – С. 157–165. DOI: 10.21515/1999-1703-65-157-165
- Фальчевская Ю. А., Осмонов О. М. Биогазовая технология как автономный источник энергии для создания микроклимата животноводческих помещений // Дальневосточный аграрный вестник. – 2022. – Т 16, № 4. С. 131–137. DOI: 10.22450/199996837_2022_4_131
- Ходак В. И., Фукс П. П., Квачов В. Г., Петренчук Э. П.; Пат. № 2104299 С1, Российская Федерация. Способ получения бактериальных препаратов. Патентообладатель Ходак В. И.; заявл. 24.05.1996.; опубл. 10.02.1998.
- Черданцева Е. С., Гаврилова О. В. Использование микроорганизмов при утилизации промышленных и бытовых отходов // Научно-исследовательские публикации. – 2016. – № 1 (33). – С. 66–69.
- Чехунов О. А., Чехунова Г. С., Воронин В. В. Агрегат для приготовления компостов с использованием эффективных микроорганизмов // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 2 (38). – С. 80–85.
- Jatav H. S., Rajput V. D., Minkina T., Singh S. K., Chejara S., Gorovtsov A., Barakhov A., Bauer T., Sushkova S., Mandzhieva S., Burachevskaya M., Kalinitchenkoet V. P. Sustainable Approach and Safe Use of Biochar and Its Possible Consequences // Sustainability. – 2021. – V. 13. – P. 10362. <https://doi.org/10.3390/su131810362>
- Ormerod J. G., Ormerod K.S., Gest H. Light-dependent utilization of organic compounds and photoproduction of molecular hydrogen by photosynthetic bacteria; relationships with nitrogen metabolism // Arch Biochem Biophys. – 1961. – V. 94. – P. 449-63. DOI: 10.1016/0003-9861(61)90073-x
- Strafella S., Simpson D., Khanghahi M., Angelis M., Gänzle M., Minervini F and Crecchio C. Comparative Genomics and *In Vitro* Plant Growth Promotion and Biocontrol Traits of Lactic Acid Bacteria from the Wheat Rhizosphere // Microorganisms. – 2021. – V. 9. – P. 78. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010078>
- Sushkova S., Minkina T., Dudnikova T., Barbashev A., Popov Yu., Rajput V., Bauer T., Nazarenko O., Kızılkaya R. Reduced plant uptake of PAHs from soil amended with sunflower husk biochar // Eurasian Journal of Soil Science. – 2021. – P. 10. <https://doi.org/10.18393/ejss.935397>
- Trukhacheva N. Mathematical statistics in biomedical research using the Statistica package. – М.: GEOTAR-Media, 2012. – 379 p.

Rzhevskaya V. S., Omelchenko A. V., Bugara I. A., Omelchenko S. O. Accelerated processing of animal husbandry waste using a microbial consortium in suspension and immobilised forms // Ekosistemy. 2023. Iss. 36. P. 248–257.

The results of research on the process of composting animal husbandry waste using a microbial consortium in suspension and immobilised (mixed with a sorbent – biochar) forms are presented. The role of weather conditions in the process of composting livestock waste was determined. The use of a microbial consortium of lactic acid bacteria, microscopic and yeast fungi in suspension and immobilised forms accelerated the process of processing livestock waste, moreover, it contributed to a decrease in the volume of composted mass by 50–70 %, odor elimination on the fifth day and color change of livestock waste on 17th day. It was revealed that in the control version, the same result was noted after 10 months. The compost obtained with microbial consortium does not exceed MPC by the content of toxic elements, as well as veterinary, sanitary and hygienic indicators, and by the content of organic matter and NPK meets the requirements of GOST 33930-2016. The introduction of microbial consortium accelerated the process of mineralisation of organic matter and contributed to an increase in the content of total nitrogen by 21.6-25.9 %, compared to the control. When using the immobilised form of microbial consortium in the finished compost, an increase in the content of ammonia nitrogen by 1.6 times was detected, while in the control variant ammonia nitrogen was not detected. The form of microbial consortium application influenced the content of phosphorus and potassium. When the suspension form was used, the phosphorus content was 2.2 % and potassium content was 5.3 % higher than in the control, while the immobilised form was 15.7 % and 8.8 % higher, respectively.

Key words: animal by-products, processing of organic waste, microbial consortium, composting, suspension and immobilised form of the drug.

Поступила в редакцию 01.11.23

Принята к печати 04.12.23