

4.2.2. Санитария, гигиена, экология, ветеринарно-санитарная экспертиза и биобезопасность (ветеринарные науки)

doi:10.18286/1816-4501-2024-2-127-135

УДК 579.64: 573.6.086.83, 631.879.42: 631.95: 676.034.81

Приемы микробной конверсии отходов птицеводства как способ экологизации отрасли

Г. В. Ильина, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры «Биология, биологические технологии и ветеринарно-санитарная экспертиза»

Д. Ю. Ильин, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры «Биология, биологические технологии и ветеринарно-санитарная экспертиза»

А. А. Гришина, аспирант, кафедры «Биология, биологические технологии и ветеринарно-санитарная экспертиза»

А. Р. Дашкина, аспирант кафедры «Почвоведение, агрохимия и химия»

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет»

440014, Пензенская область, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30

ilyina.g.v@pgau.ru

Резюме. Одной из актуальных проблем отрасли птицеводства является накопление значительных объемов отработанных подстилочных материалов. Цель исследования – разработка эффективного способа микробной конверсии пометно-подстилочных масс как наиболее распространенного отхода промышленного птицеводства в целях получения экологически безопасного компоста, богатого биогенными элементами. В основе концепции микробной конверсии лежит как потенциал естественной микрофлоры отходов, представленной в основном бактериями родов *Bacillus* и *Enterobacter*; так и специально подобранного комплекса микроорганизмов различных групп: бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов. Процессы аммонификации приводят к ошелачиванию среды и образованию летучих аминов, что служит причиной распространения неприятных запахов, потерь азота и роста экологической нагрузки. Еще одной проблемой, осложняющей микробную деструкцию подобного рода отходов, является большая доля в их составе лигноцеллюлозных материалов (солома, опилки, щепа). Использование функциональных микроорганизмов (аммонификаторов и нитрификаторов, а также мицелиальных грибов) обеспечивает сокращение потерь азота на 30...33 % от контроля, более интенсивную (на 14...15 % от контроля) утилизацию целлюлозы. С использованием методик биотестирования установлено снижение интегральной токсичности отходов в процессе микробной конверсии по истечении двух месяцев компостирования на 12...19 % по сравнению с контролем. В целом инокуляция комплексов функциональных микроорганизмов увеличивает эффективность деструкции отходов на 21,5 %. Полученный компост содержит подвижные формы азота в концентрации 29,7 мг/кг, что превышает контрольные показатели на 29,0 %. Описанные приемы позволят снизить экологическую нагрузку на среду, нивелировать уровень социальной напряженности населения на территориях вблизи полигонов размещения отходов, масштабировать площадки выращивания птицы и обеспечить доступными удобрениями сектор растениеводства и кормопроизводства при замкнутом цикле производства.

Ключевые слова: органические отходы птицеводства, экологическая безопасность, микробная ферментация, биоконверсия

Для цитирования: Ильина Г. В., Ильин Д. Ю., Гришина А. А., Дашкина А. Р. Приемы микробной конверсии отходов птицеводства как способ экологизации отрасли // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. №2 (66). С. 127-135. doi:10.18286/1816-4501-2024-2-127-135

Ways of microbial processing of poultry waste as a way to green the industry

G. V. Ilyina[✉], D. Yu. Ilyin, A. A. Grishina, A. R. Dashkina

Federal State Budgetary Institution of Higher Education "Penza State Agrarian University", 440014, Penza region, Penza, 30, Botanicheskaya str

ilyina.g.v@pgau.ru

Abstract. One of the urgent problems of the poultry industry is the accumulation of significant amounts of spent litter materials. The aim of the research is to develop an effective method of microbial conversion of litter as the most common waste of industrial poultry farming in order to obtain environmentally safe compost rich in biogenic elements. The

concept of microbial conversion is based both on the potential of natural microflora of waste, represented mainly by bacteria of *Bacillus* and *Enterobacter* genera; and on a specially selected complex of microorganisms of different groups: bacteria, mycelial fungi and actinomycetes. Ammonification processes lead to alkalisation of the environment and formation of volatile amines, which causes the spread of unpleasant odours, nitrogen losses and increased ecological load. Another problem that complicates microbial degradation of this type of waste is the high proportion of lignocellulosic materials (straw, sawdust, wood chips) in its composition. The use of functional microorganisms (ammonifiers and nitrifiers, as well as mycelial fungi) provides a 30-33% reduction of nitrogen losses compared to the control, more intensive (14-15% compared to the control) utilisation of cellulose. Using biotesting techniques, the integral toxicity of waste in the process of microbial conversion after two months of composting was found to decrease by 12-19 % compared to the control. In general, inoculation of complexes of functional microorganisms increases the efficiency of waste destruction by 21.5 %. The obtained compost contains mobile forms of nitrogen in the concentration of 29.7 mg/kg, which exceeds the control values by 29.0 %. The described methods will allow to reduce the ecological load on the environment, level the level of social tension of the population in the territories near waste disposal sites, scale up poultry breeding sites and provide available fertilisers to the crop and fodder production sector in a closed cycle of production. **Keywords:** organic wastes of poultry farming, ecological safety, microbial fermentation, bioconversion.

For citation: Ilyina G. V., Ilyin D. Yu., Grishina A. A., Dashkina A. R. Ways of microbial processing of poultry waste as a way to green the industry // *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2024;2(66): 127-135 doi:10.18286/1816-4501-2024-2- 127-135

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда №23-26-10059, <http://rscf.ru/project/23-26-10059/>.

Введение

Интенсификация производства в целях обеспечения продовольственной безопасности страны подразумевает и рост нагрузки на окружающую среду. Значительная доля отходов производства и переработки может быть подвергнута рециклингу. Птицеводство является одной из наиболее стремительно развивающихся отраслей сельскохозяйственного производства, поскольку получение птицеводческой продукции отличается коротким циклом воспроизводства и быстрой окупаемостью вложенных средств [1]. Отечественные ученые в работах, связанных с проблемами утилизации отходов птицеводства, отмечают, что динамичное развитие промышленного птицеводства ставит задачи надёжной защиты окружающей природной среды от загрязнения помётом, а проблема утилизации отходов птицеводства имеет и эколого-экономические аспекты [2, 3]. Во всем мире животноводство переживает определенный кризис из-за отсутствия экономически эффективных средств и способов переработки помета, в том числе птичьего [4, 5]. Попадание биогенов и аборигенной микрофлоры помета в почву ведет к изменению состава компонентов биоценозов и характеристик их биотопов [6]. Под влиянием газофазных испарений из пометных отходов может находиться и атмосферный воздух [7, 8]. Размещение и складирование отходов представляет экономическую проблему для предприятия, служит причиной социальной напряженности в близлежащих населенных пунктах, что в конечном итоге способно негативно отразиться на вопросах масштабирования производства. Альтернативные экологически обоснованные пути утилизации с потенциальными финансовыми выгодами могут заключаться в крупномасштабных схемах преобразования биомассы в энергию, которые также могут обеспечить более

легкое обращение с удобрениями в качестве побочного продукта [8-10].

Одним из приоритетов экологической науки в современный период является поиск путей сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу. Микробная конверсия органических отходов этому способствует, а ее продукт – компост может быть использован в качестве удобрений для растений [8-11]. Существуют объективные сложности, сопровождающие процессы конверсии биомассы отходов – низкая биодоступность некоторых компонентов перерабатываемых субстратов, а также ингибирование микробной активности высокими концентрациями $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ и H_2S [11]. Увеличение концентрации аммиака под влиянием температуры и реакции среды ведет к повышению токсичности материалов отходов. При этом хорошо известно, что в процессах естественного компостирования пометных масс наблюдается существенное повышение температуры и сдвиг реакции среды, обусловленные жизнедеятельностью микроорганизмов. Информативным способом оценки степени интегральной токсичности материалов, в том числе отходов служит биотестирование с использованием организмов – тест-объектов. Критерий токсичности – достоверное количественное значение тест-параметра, на основании которого делается вывод о токсичности изучаемого объекта. Среди тест-параметров нередко используют выживаемость и плодовитость рачка дафнии, а также подавление биолюминесценции люминесцентных штаммов кишечной палочки [12-15].

Научные работы по устранению существующих проблем в сфере микробной конверсии отходов ведутся различными исследователями, что подчеркивает актуальность данной области изысканий [16,17].

Цель исследования – разработка эффективного способа микробной конверсии пометно-подстилочных масс как наиболее распространенного отхода промышленного птицеводства в целях получения экологически безопасного компоста, богатого биогенными элементами.

Материалы и методы

Исследования выполняли на базе ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ. Отходы птицеводства были получены с полигона хранения отходов ГК Дамате, расположенного в Нижнеломовском районе Пензенской области. Это отработанные подстилочные массы, содержащие помет индейки и соломисто-опилочные материалы. Микрофлору пометно-подстилочных материалов изучали в течение года с момента размещения партии отходов, причем образцы для исследований отбирали трижды: от свежей партии; после хранения в течение полугода; после хранения в течение одного года. Выделение и изоляцию чистых микробных культур из разных объектов проводили по методу Пастера или Дригальского; идентификацию выделенных микроорганизмов проводили общепринятыми методами микробиологического анализа [18-20]. Для выявления общего представительства бактериальной микрофлоры использовали мясопептонный агар. Для выявления грибной микрофлоры использовали питательную среду Сабуро.

Компостирование осуществляли в пластиковых контейнерах, в которые помещали пометно-подстилочную массу 60 % влажности в количестве по 5,0 кг и экспонировали в стандартных условиях (20°C, 760 мм рт. ст.) в течение 10 суток при периодическом перемешивании. Культуры бактерий, мицелиальных грибов и актиномицетов, использованные в эксперименте в качестве функционального комплекса, поддерживаются в коллекции ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ и были приобретены в разное время во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов НИЦ «Курчатовский институт». Для культивирования микроорганизмов – нитрификаторов использовали питательную среду Виноградского, для деструкторов целлюлозы и лигнина – среду Гетчинсона, для культур актиномицетов – среду Ваксмана. В контрольном варианте происходила ферментация субстратов за счет ферментативной активности только аборигенной микрофлоры. В опытных вариантах в субстрат добавляли культуру нитрификаторов – представителей рода *Nitrosomonas*, иммобилизованных на минеральном носителе глауконите в количестве 5,0 % от массы субстрата и с титром микроорганизмов 0,5 млн. клеток на грамм минерального носителя. По истечении 10 суток ферментации в опытных вариантах в субстрат инокулировали функциональные комплексы термофильных мицелиальных грибов родов *Thelavia* и *Myceliophthora* в виде взвеси клеток с

титром 10,0...12,0 млн. клеток на литр культуральной жидкости для обеспечения деградации трудно-разлагаемых целлюлозных и лигниновых компонентов. На последнем этапе деструкции использовали культуры актиномицетов рода *Nocardia* и *Cellulomonas*. Для коррекции реакции среды с целью обеспечения адаптации мицелиальных грибов и актиномицетов, а также связывания летучих форм аминов в компост добавляли 10 % раствор серной кислоты до достижения pH на уровне 6,2...6,5.

О процессах деструкции целлюлозных компонентов судили по убыли целлюлозы, содержание которой определяли азотно-спиртовым методом. Содержание подвижных форм биогенных элементов в компостах определяли методом капиллярного электрофореза на приборе «Капель-104 м». Убыль массы субстрата оценивали гравиметрически.

Для оценки интегральной токсичности вытяжек из образцов компостов использовали методики биотестирования, применяемые в системе экологического контроля и мониторинга. В наших исследованиях использованы методики, основанные на реакциях тест-объектов *Escherichia coli* и *Daphnia magna* [12-15].

Эксперименты проводили в трехкратной повторности, различия считали достоверными при $p \leq 0,05$. Статистический анализ достоверности полученных результатов осуществлялся с помощью программного пакета Microsoft Excel.

Результаты

Для подстилочных масс, которые удаляются с площадок выращивания и откорма птицы, установлен довольно высокий титр микроорганизмов, составивший от $4,0 \times 10^8$ до $6,0 \times 10^8$ КОЕ/г сухого субстрата. Обнаружены типичные представители резидентной микрофлоры желудочно-кишечного тракта птицы: бактерии рода кишечной палочки, бактероиды, анаэробные клостридии, а также дрожжевые клетки.

Спустя шесть месяцев хранения отходов выявлено присутствие привнесенных микроорганизмов, участвующих в разложении органического вещества и почвообразовательных процессах. В основном это представители сапрофитных спорообразующих бактерий (*Bacillus mycoides*). Общее число микроорганизмов в течение полугода резко снижается по сравнению с исходным и составляет в среднем $5,0 \times 10^7$ КОЕ/г сухого субстрата, но видовое разнообразие меняется в пользу зимогенной микрофлоры. Это может объясняться состоявшейся термической фазой процесса естественного компостирования материала. Сразу после размещения пометно-подстилочных масс на полигонах хранения в структуре микробиоты практически отсутствуют представители грибной микрофлоры (кроме дрожжей) и актиномицетов (рис. 1).

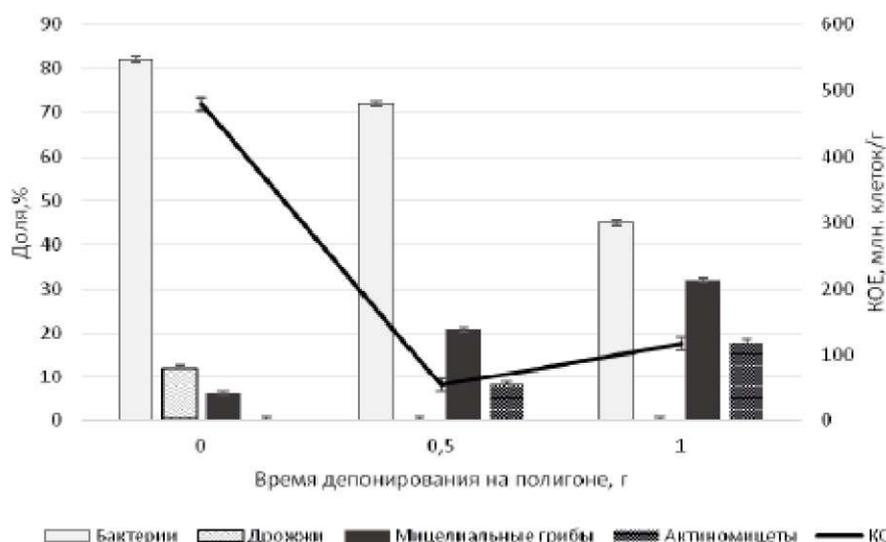


Рис.1. Динамика состава микробиоты пометно-подстилочных масс индейки при депонировании на полигоне в течение года

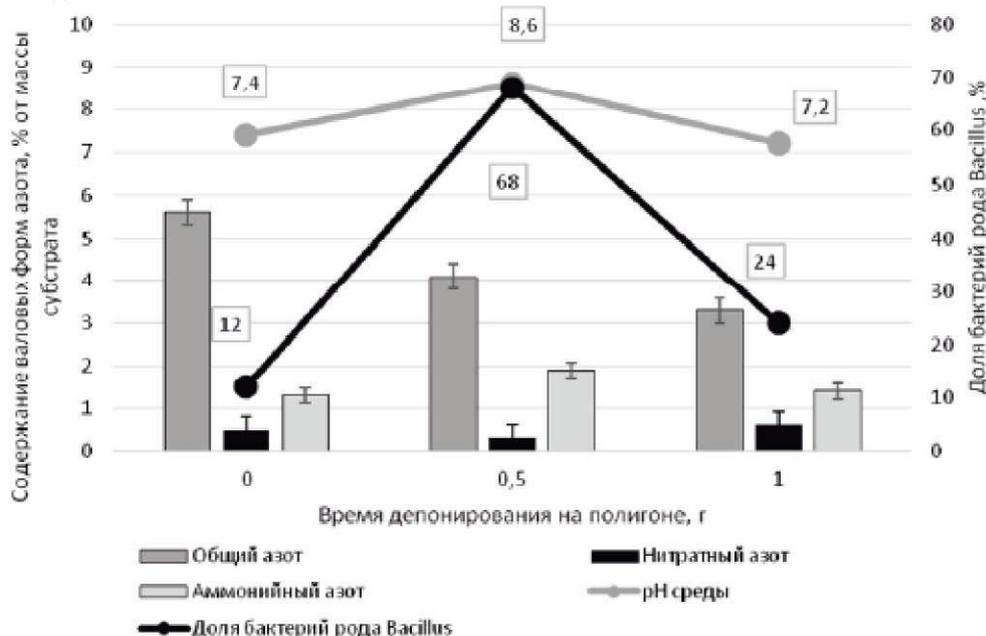


Рис. 2. Вклад бактерий рода *Bacillus* в процессы аммонификации пометно-подстилочных материалов на полигоне размещения отходов

После полугода хранения в материале обнаруживаются мицелиальные грибы, их доля постепенно становится более весомой на фоне появления актиномицетов. Это служит индикатором и стощения легкодоступных компонентов субстрата и изменения направленности микробиологических процессов в сторону переработки более трудно разлагаемых веществ подстилки (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина щепы, опилок и соломы). В составе мицелиальной микрофлоры доминируют грибы родов *Fusarium*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Mucor*. Бактерии рода *Bacillus* стабильно обнаруживаются при оценке микробного состава отходов и на более поздних этапах деструкции, они играют триггерную роль в процессах аммонификации азотсодержащей массы отходов. В свежей пометно-подстилочной массе содержатся легкодоступные углерод- и

азотсодержащие соединения, быстрая утилизация которых обеспечивает активное размножение бактерий. Бактериальные процессы аммонификации приводят к накоплению простых аминов и аммиака (рис. 2).

Следствием служит изменение реакции среды до значений pH субстрата на уровне 8,0-9,5, а также поступление в атмосферу летучих газофазных соединений, имеющих стойкий неприятный запах.

В течение года хранения отходов в условиях естественной биодеструкции количество выделенных колоний увеличивается (до 150,0 млн. КОЕ/г сухого субстрата) (см. рис. 1). Обнаруживаются анаэробные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*: *C. pasteurianum* и *C. butyricum*. Это связано с изменением режимов влажности и сезонными перепадами температуры. Отмечается

снижение значения pH, которое на данном этапе составляет от 4,8 до 5,7 на разных площадках полигона, что способствует росту в микробном ценозе доли мицелиальных грибов и актиномицетов – почвообразователей.

Представителей патогенной микрофлоры (бактерий рода *Salmonella*) не было обнаружено ни на одном из этапов исследования, что говорит о потенциальной безопасности внесения компоста, полученного из пометно-подстилочных материалов, в почву.

Параллельно изучением микрофлоры хранящихся на полигонах отходов была проведена оценка параметров интегральной токсичности материала. С использованием тест-объектов, принадлежащих к отдаленным систематическим группам (*Escherichia coli* и *Daphnia magna*), установлено, что образцы свежих отходов, размещаемых на полигоне, характеризуются как обладающие значительной интегральной токсичностью. После полугода хранения на фоне естественных процессов деструкции показатели токсичности снижаются, и, наконец, спустя год пробы оцениваются как нетоксичные (табл. 1).

Таблица 1. Результаты оценки интегральной токсичности вытяжек из отобранных образцов пометно-подстилочных материалов

Особенности образца	Тест-объект (принцип методики)		Оценка токсичности
	<i>Daphnia magna</i> (по смертности дафний, А, %)	<i>Escherichia coli</i> (изменение интенсивности бактериальной биолюминесценции, у.е.)	
Исходный	78,7±3,7	60,2±1,3	Оказывает острое токсическое действие; образец сильно токсичен
По истечении 6 месяцев естественной деструкции	55,3±3,3	26,2±1,7	Оказывает токсическое действие; образец токсичен
По истечении 12 месяцев естественной деструкции	3,3±0,3	13,6±0,7	Проба не токсична; образец не токсичен

Для изучения возможностей увеличения темпов деструкции и предотвращения в ее ходе потерь азота была проведена серия экспериментов по оптимизации состава микрофлоры путем внесения функциональных комплексов микроорганизмов и коррекции реакции среды в лабораторных условиях. В контрольном варианте компостирование субстратов происходило за счет ферментативной активности только естественной микрофлоры. В опытном варианте в субстрат поочередно добавляли функциональные комплексы микроорганизмов. В течение 10-суточного периода материал из контрольного и опытного вариантов с интервалом в двое суток анализировали на предмет содержания органического азота, а также пропорций аммонийного и нитратного азота.

Внесение в субстрат культуры хемоавтотрофной бактерии рода *Nitrosomonas*, иммобилизованной на порошкообразном минерале глауконите, стимулирует процессы нитрификации и, опосредованно, аммонификации в компосте (рис. 3,4).

Это осуществляется за счет увеличения темпов деструкции аминов до аммиака, его окисления и связывания продуктов в процессах адсорбции и хемосорбции. Связывание аммиака в форму сульфата аммония, а также его окисление до нитратов обеспечивает сохранение азота в доступной для биологической ассимиляции форме, а также способствует снижению эмиссии аммиака и летучих аминов. По истечении 10 суток компостирования в субстрат инокулировали функциональный комплекс мицелиальных грибов родов *Thielavia* и *Myceliophthora* в равных долях в виде взвеси клеток с титром 10,0...12,0 млн. клеток на литр культуральной жидкости.

Через 10 суток в субстрат инокулировали функциональный комплекс термофильных грибов родов *Thielavia* и *Myceliophthora* в равных долях в виде взвеси клеток с титром 10,0...12,0 млн. клеток на литр культуральной жидкости. В контрольном варианте ферментация осуществлялась за счет естественной микрофлоры. Термический этап продолжался в течение двух недель и обеспечил в эксперименте более эффективную деструкцию целлюлозы (на 18,1 %) и более интенсивную убыль субстрата (на 12,3 %), чем в контроле (табл. 2).

На заключительном этапе деструкции использовали актиномицеты родов *Cellulomonas* и *Nocardia*. Внесение на данной стадии 10%-ного раствора серной кислоты до достижения pH на уровне 6,2-6,5 позволило связать остаточные количества аммиака и создать благоприятные условия для деятельности почвообразователей.

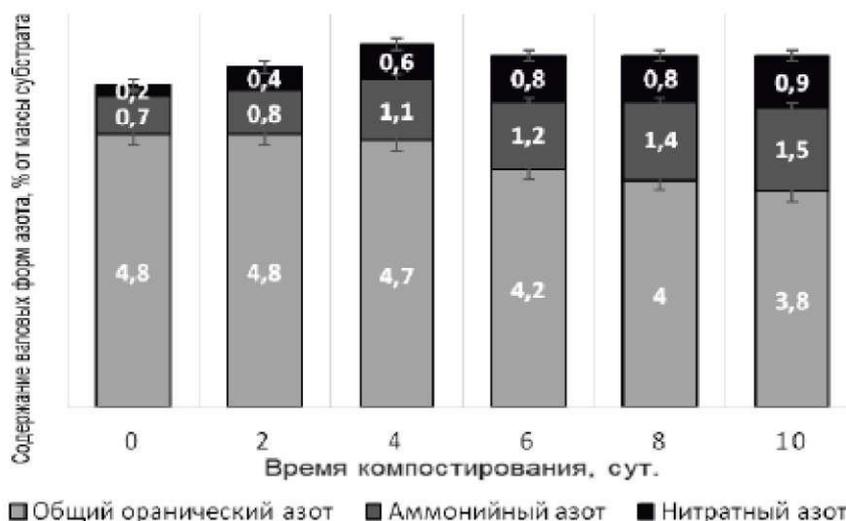


Рис. 3. Динамика содержания в субстрате разных форм азота в процессе компостирования отходов птицеводства в присутствии естественной микрофлоры (контроль)

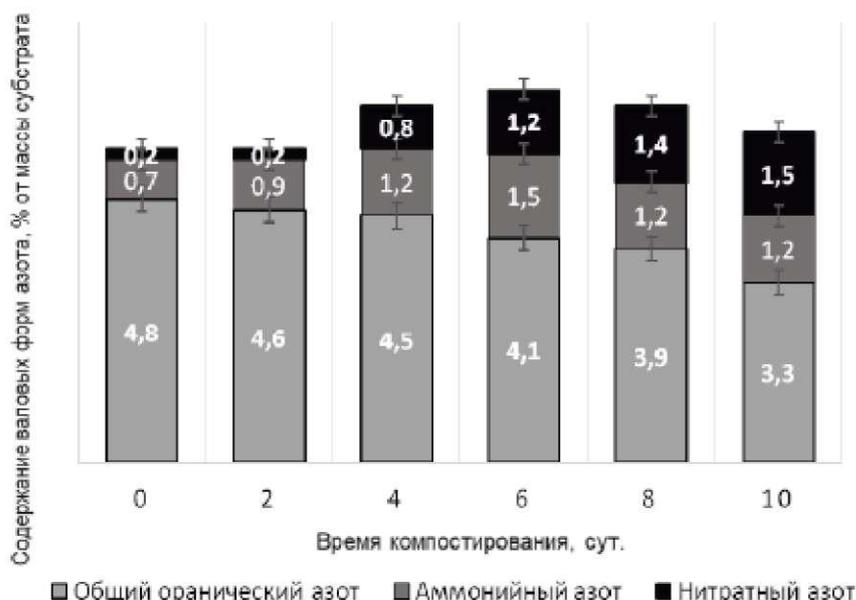


Рис. 4. Динамика содержания в субстрате разных форм азота в процессе компостирования отходов птицеводства в присутствии естественной микрофлоры с добавлением хемоавтотрофной бактерии *Nitrosomonas* в комплексе с минеральным носителем – глауконитом (опыт)

Таблица 2. Эффективность деструкции образцов пометно-подстилочных материалов массой 5 кг по истечении 2 месяцев компостирования под воздействием микроорганизмов

Параметр	Вариант компостирования	
	Контроль (естественная микрофлора)	Опыт (естественная микрофлора и функциональный комплекс микроорганизмов)
Цвет	серо-коричневый	темно-бурый
Запах	аммиачный	землистый
Консистенция	крупнодисперсная, потеря прочности подстилки незначительна	мелкодисперсная, потеря прочности подстилки сильно выражена
pH	7,7±0,1	7,2±0,1
Масса субстрата, % от исходной	83,7±0,7	62,2±0,3
Содержание подвижного азота (N-NO ₃), мг/кг	29,7±0,3	38,3±0,7
Содержание целлюлозы, % от исходного количества	82,4±4,1	67,5±1,6
Масса субстрата, % от исходной	86,8±1,1	76,1±0,9

В контрольном варианте реакция среды отмечалась на уровне 7,1...7,4. Финальный этап компостирования продолжался 30 суток, а весь процесс эксперимента составил два месяца. Реакция среды в опытном варианте в конце эксперимента была близка к нейтральной. Процесс компостирования

иницируется естественной микрофлорой, однако инокуляция комплексов функциональных микроорганизмов увеличивает его эффективность на 21,5 %.

Оценены показатели интегральной токсичности опытного и контрольного образцов компостов (табл. 3).

Таблица 3. Результаты оценки интегральной токсичности вытяжек из полученных в лабораторных условиях компостов

Этап компостирования	Вариант	Тест-объект (принцип методики)		Оценка токсичности
		<i>Daphnia magna</i> (по смертности дафний, А, %)	<i>Escherichia coli</i> (изменение интенсивности бактериальной биолюминесценции, у.е.)	
Исходный	-	65,6±3,7	64,4±3,3	Оказывает острое токсическое действие; образец сильно токсичен
По истечении 10 суток	Контроль	60,3±2,3	62,8±2,1	Оказывает острое токсическое действие; образец сильно токсичен
	Опыт	57,8±1,5	44,8±2,8	Оказывает токсическое действие; образец токсичен
По истечении 30 суток	Контроль	56,7±2,7	34,5±1,3	Оказывает токсическое действие; образец токсичен
	Опыт	5,3±0,7	18,8±1,6	Проба не токсична; образец не токсичен
По истечении 60 суток	Контроль	7,1±0,3	14,7±0,6	Проба не токсична; образец не токсичен
	Опыт	6,3±0,6	12,3±0,3	Проба не токсична; образец не токсичен

Пробы отбирались и анализировались методом биотестирования на 10-е сутки, 30-е сутки и 60-е сутки эксперимента. Показано, что химическая коррекция реакции среды в опытном варианте не сказалась негативно на итоговых характеристиках субстрата как экологически безопасного материала.

Обсуждение

Анаэробное разложение масс органических отходов животноводства микроорганизмами, рассматриваемое современными исследователями как один из путей экологизации сельскохозяйственного производства, способно частично решить проблему сокращения поступления в атмосферу парниковых газов, попутно обеспечив получение качественных удобрений. Известны результативные примеры внедрения подобных приемов на практике, которые на фоне общих позитивных результатов позволили выявить и ряд слабых сторон технологий анаэробной конверсии. В первую очередь, это слабая воспроизводимость процессов, объясняемая низкой стабильностью микробных деструкторов и зависимостью их активности от спонтанных факторов. В частности, на сегодняшний день известно о значительном ингибировании почвенной микрофлоры высокими концентрациями $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ и H_2S , характерными для компостов на основе навоза и помета. Результат снижения функциональной активности микробов – снижение биодоступности элементов питания для сельскохозяйственных растений. Отмечается озабоченность ученых и практиков данной

проблемой, о чем свидетельствует рост публикаций, содержащих результаты исследований по оптимизации процессов биоконверсии органических отходов и получения агромелиорантов. Использование разработанных в ходе наших исследований приемов обеспечивает минимизацию потерь биогенных элементов в процессе деструкции. Это снижает объемы газофазных испарений в атмосферу и определяет переход ценных биогенов, прежде всего, азота в доступные для растений подвижные формы. Благодаря использованию разработанных приемов органические отходы птицеводства в виде отработанной подстилочной массы могут быть конверсированы в биогузмус, по характеристикам соответствующий органоминеральному удобрению. Данные о динамике интегральной токсичности отходов птицеводства по мере их естественной деструкции в современной литературе практически не встречаются. В ходе настоящих исследований не только проведена оценка указанных показателей, но и установлено снижение значения интегральной токсичности путем использования разработанных приемов биоконверсии. Это свидетельствует о возможностях снижения экологической нагрузки. Организация биоконверсии отходов до органоминерального удобрения с использованием рекомендуемого функционального комплекса микроорганизмов особенно целесообразна в хозяйствах, имеющих в структуре, помимо птицеводческих предприятий, сектора растениеводства и кормопроизводства.

Заключение

Микробная конверсия отходов функциональным комплексом микроорганизмов интенсифицирует процесс деструкции на 21,5 %; снижает потери азота, сокращая газофазные испарения, на 29,0 %; нивелирует интегральную токсичность отходов на 12...19 %. Таким образом, описанные приемы способствуют экологизации отрасли птицеводства. Эффективная утилизация отходов обеспечит снижение

социальной напряженности и позволит масштабировать производство. Полученные путем компостирования удобрения могут использоваться в пределах производственного холдинга, образующего сырье – органические отходы, поскольку подавляющее большинство таких предприятий имеет сектор растениеводства для самообеспечения кормами (замкнутый цикл).

Литература

1. Фахреев Н.Н., Дыганова Р.Я. Программный комплекс оценки полигонов хранения органических отходов в птицеводческих комплексах // Академический вестник ЭЛПИТ. 2019. Т.4, №1(7). С.49-56.
2. Трухачев В. И., Епимахова Е. Э., Злыднев Н. З. Обозначены векторы развития птицеводства // Птицеводство. 2019. № 2. С. 12-15. EDN DYNPEZ.
3. Фисинин, В. И. Мировое и российское птицеводство: реалии и вызовы будущего: монография Москва: Хлебпродинформ, 2019. 470 с. ISBN 978-5-93109-134-1. EDN PМОEQN.
4. Микробиота кишечника индейки и пометно-подстилочных материалов: особенности и значение в деструкции отходов птицеводства / Д. Ю. Ильин, Г. В. Ильина, Л. Л. Ошкина и др. // Нива Поволжья. 2023. № 3(67). Doi: 10.36461/NP.2023.67.3.015. EDN PFXOZU.
5. Poultry litter and the environment: Microbial profile of litter during successive flock rotations and after spreading on pastureland / T. L. Crippen C. L. Sheffield, B. Singh, et al. // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 780. P. 146413.
6. Fungal conversion of chicken-feather waste into biofortified compost / S. Masood, A. Hussain, A. Javid, et al. // Braz J Biol. 2022. Vol. 6. No.83. P. e248026. doi: 10.1590/1519-6984.248026.
7. Феоктистова Н. А., Дежаткина С.В. Разработка биокомпозиции как компонента биопрепарата для коррекции микробиологии желудочно-кишечного тракта продуктивных животных и птицы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 2 (62) С. 122-128.
8. Production and performance of bio-based mineral fertilizers from agricultural waste using ammonia (stripping-) scrubbing technology / I. Sigurnjak, C. Brienza, E. Snauwaert, et al. // Waste Management. 2019. Vol. 89. P. 265-274.
9. Valorization of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production / B. Ravindran, N. Karmegam, M. K. Awasthi, et al. // Bioresour Technol. 2022. Vol. 346. P.126442.
10. Organomineral fertilizers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth / A. S. Pereira, A. de Paula, Castro J. de Siqueira et al. // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 779. P.146205.
11. Возможности регулирования потоков биогенных элементов в агроэкосистемах путем использования органоминерального удобрения на основе ферментированных отходов птицеводства / Г. В. Ильина, Д. Ю. Ильин, А. А. Гришина и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 4(79). С. 73–84.
12. Олькова А.С., Березин Г.И., Ашихмина Т.Я. Оценка состояния почв городских территорий химическими и эколого-токсикологическими методами // Поволжский экологический журнал. 2016. № 4. С. 411-423.
13. Acute aquatic toxicity of sulfur mustard and its degradation products to *Daphnia magna* / M. Czub, J. Nawala, S. Popieł et al. // Mar Environ Res. 2020. Vol. 161. P. 105077. doi: 10.1016/j.marenvres.2020.105077.
14. Marcin S., Aleksander A. Acute toxicity assessment of nine organic UV filters using a set of biotests // Toxicol Res. 2023. Vol. 12. No. 39 (4). P. 649-667. doi: 10.1007/s43188-023-00192-2.
15. Validation of a Standard Luminescence Method for the Fast Determination of the Antimicrobial Activity of Nanoparticles in *Escherichia coli* / G. A. Marcelo, J. Galhano, M. P. Duarte, et al. // Nanomaterials (Basel). 2022. Vol.23. No. 12(13). P. 2164. doi: 10.3390/nano12132164.
16. Srivastava R. K. Sustainable energy from waste organic matters via efficient microbial processes / R. K. Srivastava, N. P. Shetti, K. R. Reddy, et al. // Sci Total Environ. 2020. Vol. 722. P. 137927.
17. Wang X. Change of core microorganisms and nitrogen conversion pathways in chicken manure composts by different substrates to reduce nitrogen losses. / X. Wang, N. Liu, R. Zeng, et al. // Environ Sci Pollut Res Int. 2024. Vol. 31. No. 10. P. 14959-14970. doi: 10.1007/s11356-024-31901-5.
18. Сердюченко И.В. Почвенная микробиология / И. В. Сердюченко, А. Г. Кощаев, Н. Н. Гугушвили. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. 2022. 98 с.
19. Белов А. А. Чепцов В. С., Лысак Л. В. Методы идентификации почвенных микроорганизмов. Москва. 2020. 196 с.
20. Маннапова, Р. Т. Микробиология. Москва. 2019. 440 с.

References

1. Fakhreev, N. N.; Dyganova, R. Ya. Programme complex for the assessment of organic waste storage landfills in poultry complexes // *Academic Bulletin of ELPIT*. 2019. T.4. No. 1(7). P. 49-56.
2. Trukhachev V. I., Epimakhova E. E., Zlydnev N. Z. Vectors of poultry farming development are outlined // *Poultry farming*. 2019. No. 2. P. 12-15. EDN DYHPEZ.
3. Fisinin, V. I. World and Russian poultry farming: realities and challenges of the future: monograph Moscow: Khlebproinform, 2019. 470 p. ISBN 978-5-93109-134-1. EDN PMOEQN.
4. Microbiota of turkey intestine and litter and bedding materials: features and importance in the destruction of poultry waste / D. Y. Ilyin, G. V. Ilyina, L. L. Oshkina et al. // *Niva Povolzh'ye*. 2023. No. 3(67). doi: 10.36461/NP.2023.67.3.015. EDN PFXOZU.
5. Poultry litter and the environment: Microbial profile of litter during successive flock rotations and after spreading on pastureland / T. L. Crippen C. L. Sheffield, B. Singh, et al. // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 780. P. 146413.
6. Fungal conversion of chicken-feather waste into biofortified compost / S. Masood, A. Hussain, A. Javid, et al. Masood, A. Hussain, A. Javid, et al. // *Braz J Biol*. 2022. Vol. 6. No. 83. P. e248026. doi: 10.1590/1519-6984.248026.
7. Feoktistova N. A., Dezhatkina S. V. Development of biocomposition as a component of a biopreparation for the correction of microecology of the gastrointestinal tract of productive animals and poultry // *Vestnik of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2023. No. 2 (62) P. 122-128.
8. Production and performance of bio-based mineral fertilisers from agricultural waste using ammonia (stripping-) scrubbing technology / I. Sigurnjak, C. Brienza, E. Snauwaert, et al. Sigurnjak, C. Brienza, E. Snauwaert, et al. // *Waste Management*. 2019. Vol. 89. P. 265-274.
9. Valorisation of food waste and poultry manure through co-composting amending saw dust, biochar and mineral salts for value-added compost production / B. Ravindran, N. Karmegam, M. K. Awasthi, et al. // *Bioresour Technol*. 2022. Vol. 346. P.126442.
10. Organomineral fertilisers pastilles from microalgae grown in wastewater: Ammonia volatilization and plant growth / A. S. Pereira, A. de Paula, Castro J. de Siqueira et al. // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 779. P.146205.
11. Possibilities of regulation of nutrient element flows in agroecosystems through the use of organomineral fertiliser based on fermented poultry waste / G. V. Ilyina, D. Yu. // *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*. 2023. Vol. 16. No. 4(79). P. 73-84.
12. Olkova A.S., Berezin G.I., Ashikhmina T.Y. Assessment of the state of soils of urban areas by chemical and ecological-toxicological methods // *Volga Ecological Journal*. 2016. No. 4. P. 411-423.
13. Acute aquatic toxicity of sulfur mustard and its degradation products to *Daphnia magna* / M. Czub, J. Nawala, S. Koriebl et al. // *Mar Environ Res*. 2020. Vol. 161. P. 105077. doi: 10.1016/j.marenvres.2020.105077.
14. Marcin S., Aleksander A. Acute toxicity assessment of nine organic UV filters using a set of biotests // *Toxicol Res*. 2023. Vol. 12. No. 39 (4). P. 649-667. doi: 10.1007/s43188-023-00192-2.
15. Validation of a Standard Luminescence Method for the Fast Determination of the Antimicrobial Activity of Nanoparticles in *Escherichia coli* / G. A. Marcelo, J. Galhano, M. P. Duarte, et al. // *Nanomaterials (Basel)*. 2022. Vol. 23. No. 12(13). P. 2164. doi: 10.3390/nano12132164.
16. Srivastava R. K. Sustainable energy from waste organic matters via efficient microbial processes / R. K. Srivastava. K. Srivastava, N. P. Shetti, K. R. Reddy, et al. // *Sci Total Environ*. 2020. Vol. 722. P. 137927.
17. Wang X. Change of core microorganisms and nitrogen conversion pathways in chicken manure composts by different substrates to reduce nitrogen losses. / X. Wang, N. Liu, R. Zeng, et al. // *Environ Sci Pollut Res Int*. 2024. Vol. 31. No. 10. P. 14959-14970. doi: 10.1007/s11356-024-31901-5.
18. Serdyuchenko I.V., Koshchaev A.G., Gugushvili N. N. Soil microbiology. Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin. 2022. 98 p.
19. Belov A. A., Cheptsov V. S., Lysak L. V. Methods of identification of soil microorganisms. Moscow. 2020. 196 p.
20. Mannapova, R. T. Microbiology. Moscow. 2019. 440 p.