

ТЕРМОАММИАЧНОЕ КОМПОСТИРОВАНИЕ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА

Фото Юлии Васильиной



Николай Гринчик,
ведущий научный
сотрудник Института
тепло- и массообмена
им. А.В. Лыкова НАН
Беларуси, доктор физико-
математических наук,
профессор



Ирина Козловская,
завкафедрой основ
агрономии БГАТУ, доктор
сельскохозяйственных
наук, доцент

Органические удобрения, благодаря содержанию макро- и микроэлементов, аминокислот, гуматов, при использовании в растениеводстве способствуют достижению уникального комплексного эффекта: повышению устойчивости растений к неблагоприятным факторам, возрастанию их продуктивности, качества продукции, что приводит к росту эффективности сельскохозяйственного производства в целом. В отличие от минеральных добавок, при разложении в почве органических веществ питательные элементы высвобождаются постепенно, не создавая повышенной концентрации солей в грунтовой растворе и постоянно обеспечивая растения в течение всего вегетационного периода. Помимо этого, увеличиваются гумусированность, поглощательная способность и буферность почвы; оптимизируются ее физические, физико-механические свойства и другие показатели, характеризующие плодородие; усиливается круговорот макро- и микроэлементов в системе «почва – растение» [1]. Органические удобрения содержат микроорганизмы, которые активизируют деятельность почвенной микрофлоры, так как являются для нее пищей и источником энергии.

Внесение минеральных добавок должно производиться в соответствии с научными рекомендациями, быть экономически и экологически обоснованным, поскольку при нарушениях дозировки они подавляют микрофлору перегноя, мигрируют по почвенному профилю и затем, попадая в грунтовые воды, ухудшают их качество. Так, например, в Калифорнии (США) десятки, если не сотни тысяч гектаров угодий, на которых выращивали виноград и цитрусовые с использованием неоправданно высоких доз минеральных подкормок, полностью утратили плодородие. В Китае за счет превышения рекомендуемого уровня азотных соединений ежегодно теряется 5–7% плодородной земли.

Предотвратить деградацию почв и рекультивировать их можно путем внесения высококачественных органических удобрений. Общеизвестно, что применение с данной целью свежего навоза недопустимо: этот переработанный отход животноводства, наряду с семенами сорных растений, содержит ряд возбудителей инфекционных заболеваний, распространяющихся по воздуху или воде на сотни километров. По данным Всемирной организации здравоохранения, навоз может быть фактором передачи более 100 возбудителей болезней животных с острым и хроническим течением, в том числе опасных для человека (колибактериоз, сальмонеллез, маститы, эндометриты, лептоспироз, листериоз, туляремия, туберкулез, рожа и чума свиней, столбняк, сибирская язва, Ку-лихорадка, ящур и др.). Он служит для патогенных микроорганизмов защитной средой от неблагоприятных факторов, таких как инсоляция, действие низких или высоких температур, дезинфицирующих средств.

Серьезная экологическая и медицинская проблема – контаминация зерна и комбикормов грибами и продуктами их жизнедеятельности (микотоксинами). Известно, что в окружающей среде обитают микроскопические грибы, способные длительное время сохраняться в почве, растениях, фураже, навозе. Описано более 400 микотоксинов, образуемых 350 видами грибов; они не уничтожаются в пищеварительном тракте животных, поэтому значительная часть навоза также заражена ими. В настоящее время наблюдается тенденция к возрастанию количества данного вида вредных компонентов в продуктах питания и почвах. В Европе ими загрязнено не менее 25% зерна; в силу особен-

ностей климата в Республике Беларусь уровень засорения значительно выше и достигает 70%.

Микотоксины в земле существовали всегда, но широкое распространение в сельском хозяйстве средств химизации привело к нарушению микробного ценоза почвы и накоплению низкомолекулярных вторичных метаболитов, продуцируемых микроскопическими плесневыми грибами. Постоянное внесение на поля переработанных отходов животноводства приводит к их накоплению в пашне, продуктах питания и в конечном итоге – к многочисленным отрицательным последствиям: снижению урожайности, непродуктивному использованию кормов и т.д.

При скармливании животным пищи, загрязненной микотоксинами даже в следовых количествах (не более 0,1 мг/кг), у них проявляются субклинические формы токсикозов, при которых в желудочно-кишечном тракте активизируется условно-патогенная микрофлора [2], которая вместе с микотоксинами выводится из организма с экскрементами. Если их не дезактивировать в навозе, они попадут в почву и будут вовлечены в биологический круговорот веществ.

Изучение состава воздуха животноводческих помещений показало содержание в них 20–30 различных газов, в том числе углекислого, а также ряда токсичных веществ: аммиака, метана, сероводорода. Помимо этого, в них обнаруживаются такие соединения, как этанол, пропанол, бутанол, гексанол, ацетон, 2-бутанон и 3-пентанон, метанэтанол, диметилсульфид, диэтилсульфид, пропилацетат, триметиламин, этиламин и др. Распространяясь на расстояния 5–17 км от места складирования, они вызывают у человека нарушения физиологических реакций (тошноту, головную боль, расстройство деятельности органов пищеварения, дыхания, зрения, центральной нервной системы), а у животных – множественные кровоизлияния на внутренних органах.

В США, странах ЕС и в ряде других государств законодательно запрещено применение в качестве органического удобрения свежих отходов животноводства; технологические решения по их переработке должны быть защищены патентами, а продукты сертифицированы.

Практическое применение нашли два приема трансформации этих отходов: аэробный [3] и анаэробный с получением метана (биогаза).

Аэробный способ приготовления компоста предусматривает послойную укладку свежего навоза и влагопоглощающего органического

материала. Штабель периодически перемешивают и вентилируют, что позволяет создать термическую среду 55–65 °С и приводит к обеззараживанию компоста и гибели семян сорных растений. Однако именно вентилирование и является основным недостатком данного способа, потому что обеспечивает распространение по воздуху возбудителей инфекционных болезней, а также миграцию в атмосферу аммиака, сероводорода, углекислого газа, метана и др. Так как эти вещества стимулируют компостирование, их эмиссия ведет к снижению удобрительной ценности готового продукта. Причем в активную фазу компостирования (биоокисления) при трансформации углеводов и протеинов в углекислый газ, воду и аммиак потеря массы составляет приблизительно 25–35%. И еще примерно столько же теряется к окончанию созревания компоста.

Сравнительно новая анаэробная технология позволяет переработать отходы животноводства с получением горючего газа метана, находящего в последнее время все большее применение. Однако и у данного метода имеются определенные недостатки. Для поддержания работы биогазовой установки необходимо специально производить растительное сырье; в жидком растворе

должно содержаться не более 8% сухих веществ, желательное сочетание навоза (около 30%) и продуктов растениеводства (около 70%) [4], поэтому общая (суммарная) масса воды, навоза, растительных остатков в 5–10 раз больше по массе обычного аэробного компоста – как следствие, значительно увеличиваются транспортные расходы.

При работе биогазового комплекса каждые 1–2 часа в метантенк добавляют свежую порцию бесподстилочного навоза (1–2 т), который перемешивается с основным содержимым емкости (2–3 тыс. м³) при температуре раствора 38–42 °С. За такой короткий период времени патогенная микрофлора не уничтожается, а только разбавляется основной массой содержимого, так как лигнин микробами не перерабатывается. В результате на поверхности лагун постепенно образуется корка из органических остатков, толщина которой через 1–2 года может достигать 30–50 см.

Способы инактивации микотоксинов путем использования кормовых добавок лишь уменьшают их поступление в кровяное русло животных и удаляются затем из организма с фекалиями; сорбенты, например активированный уголь, связывают вредные вещества и выводят тем же способом. Таким образом, навоз становится резер-

вацией микотоксинов, и если их не уничтожить при производстве органических удобрений, зараженность будет увеличиваться за счет циклического, ежегодного инфицирования почвы и полученной на ней растениеводческой продукции. Возможно также распространение этих отравляющих веществ при хранении и транспортировке кормов.

Содержание микотоксинов в пище для скота даже в следовых количествах приводит к существенным экономическим потерям за счет ухудшения продуктивности и иммунного состояния животных. К примеру, на крупных молочных комплексах продуктивное использование коров составляет не более 1,5–2 лет, тогда как по нормативам необходимо 5–6 лет. Их мясо может быть вредным для человека, особенно

Патогенный организм	Время и температура (t) уничтожения
Salmonella typhosa	не развивается при t выше 46 °С, погибает за 30 мин. при 55–60 °С и за 20 мин. при 60 °С
Salmonella sp.	погибает за 60 мин. при 55 °С и за 15–20 мин. при 60 °С
Shigella sp.	погибает за 60 мин. при 55 °С
Escherichia coli	погибает за 60 мин. при 55 °С и за 15–20 мин. при 60 °С
Eutamobahistolitycyste	погибает за несколько минут при 45 °С и за несколько секунд при 55 °С
Taeniasaginata	погибает за несколько минут при 55 °С
Trichinellaspidualis larva	погибает немедленно при 60 °С
Brucellaabortus o suis	погибает за 3 мин. при 62 °С и за 60 мин. при 55 °С
Micrococcuspyogenes var. aureus	погибает за 10 мин. при 50 °С
Streptococcus pyogenes	погибает за 10 мин. при 54 °С
Mycobacterium tuberculosis var. hominis	погибает за 15–20 мин. при 66 °С и немедленно при 67 °С
Corynebacteriumdiphtheriae	погибает за 45 мин. при 55 °С
Necatoramericanus	погибает за 50 мин. при 45 °С
Ascarislumbricoides (яйца)	погибает за 50–55 мин. при t выше 50 °С

Таблица 1. Смертность некоторых патогенных для человека микроорганизмов в зависимости от температурного фактора

для тех людей, которым необходимо функциональное питание, так как у многих животных больна печень. Обработка зерна на линиях обжаривания, экструдирования, микроионизация требуют специального дорогостоящего оборудования.

Известно влияние температурного фактора на патогенные для человека микроорганизмы (табл. 1, 2).

При температуре более 50 °С в течение 1 часа погибает большинство микроорганизмов, патогенных для человека и культивируемых растений, а при наличии паров аммиака происходит и уничтожение микотоксинов. Некоторое его количество вырабатывается, конечно, и при обычном аэробном компостировании, но для разрушения продуктов жизнедеятельности грибов требуются большие концентрации данного вещества. Существующие способы переработки навоза, включая биогазовые комплексы, микотоксины не уничтожают.

В биогазовых установках содержание сухих веществ при метановом брожении составляет не более 8%, при использовании гидравлических систем навозоудаления их доля колеблется в пределах 3–8%. Благодаря гнилоственному разложению сложных органических составных частей растений, экскрементов животных возникают более простые соединения – углекислота, вода, аммиак, азотная, азотистая, серная, фосфорная кислоты, которые используются в природе для синтеза нового биоматериала, клеток растений, избыточного ила. Простейшие вещества, например аммиак, обладают бактерицидными свойствами. Разбавление навоза водой приводит к серьезным экологическим проблемам, так как концентрация основного обеззараживающего агента – аммиака – за счет этого резко снижается.

Так как в природно-климатических условиях Беларуси система удобрения сельскохозяйственных культур должна быть органо-минеральной, качественные органические подкормки выступают основой повышения культуры земледелия [5, 6]. В связи с этим разработка технологии получения обеззараженных компостов с высокой удобрительной ценностью, не содержащих

Патогенный организм	Растение	Болезнь	Температура (°С)	Выживаемость
Грибки				
Armillariamellea	яблоня	корневая гниль	50	*
Botrytis allii	лук	корневая гниль	47–73	*
Bortytiscinerea	герань	серая плесень	40–60	*
Didymellalycopersici	помидор	гниль ствола	39	*
Fusariumoxysporum	китайская астра	увядание	47–73	*
Phomopsisclerotioides	огурец	черная гниль корней	47–73	*
Phytophthoracinnamoni	рододендрон	корневая гниль	40–60	*
Phytophthoracryptogena	китайская астра	гниль ствола	47–74	*
Phytophthorainfestans	картофель	позднее увядание	44–65	*
Plasmodiophorabraceae	капуста	капустная грыжа	47–73	*
Pyrenochaetalycopersici	помидор	гниль	44–65	*

Таблица 2. Выживаемость некоторых патогенных микроорганизмов

патогенной микрофлоры, антибиотиков, сорняков, имеет как научное, так и практическое значение и, наряду с повышением продуктивности сельскохозяйственных культур, обеспечит выращивание качественной продукции и предотвратит загрязнение окружающей среды.

Нами изучено влияние температуры, концентрации паров аммиака и времени их воздействия на активность антибиотиков, содержание микотоксинов в тестовых образцах, всхожесть семян сорняков. Разработан и запатентован [7] способ приготовления обеззараженного компоста с сокращением срока его созревания до 3–6 недель при температуре окружающей среды не ниже –5 °С, с потерей начальной массы не более 10–20%, без инфицирования и выбросов в атмосферу газов от компостирования.

В фуражном зерне и продуктах его переработки допускается содержание микотоксинов: дезоксинивалеона – 1 мг/кг, трихотеценовых микотоксинов – 0,1 мг/кг.

Аммиак может значительно снижать концентрацию микотоксинов. Экспериментально нами установлено явление зависимости обеззараживающего действия этой летучей щелочи от температуры. Для этого достаточно использовать 30 кг аммиака (время контакта 3–5 суток) на 1 м³ навоза.

В качестве исходного образца исследовали кукурузную муку, загрязненную микотоксинами: дезоксинивалеоном – 2,32 мг/кг, трихотеценовыми микотоксинами, продуцируемыми грибами рода

фузариум, – 0,122 мг/кг. Опыты по количественному определению содержания обоих этих видов в муке кукурузы проводились в Белорусском государственном ветеринарном центре (г. Минск).

В результате исследований установлено, что уже при 20 °С и выдержке муки в парах аммиака в течение суток происходит существенное снижение содержания микотоксинов. При температурном фоне 40 °С отмечается уменьшение в составе дезоксинивалеона до 1,5 мг/кг и трихотеценовых микотоксинов – практически до санитарной нормы, при 60 °С – ниже нее (табл. 3, рисунок).

Кроме того, нами установлено, что пары аммиака при температурах более 40 °С разрушают антибиотики (результаты исследований Белорусского государственного ветеринарного центра), а семена сорняков практически лишают всхожести (данные Центрального ботанического сада НАН Беларуси). Этот факт был зафиксирован для распространенного антибиотика апромицина и семян дикого амаранта.

Нами построена технологическая схема, основанная на использовании термодинамических циклов без выброса углекислого газа, аммиака, сероводорода в атмосферу.

В качестве «подушки» укладывают подсушенный торф, затем – слой навоза, который засыпают соломенной резкой, таким образом формируя в штабеле 4–5 слоев. Солому каждой прослойки поливают азотным удобрением КАС. Верхняя часть штабеля, укрытая соломой, обсыпается торфом. Она должна поддерживаться влажной для конденсации газов компостирования в межпоровом пространстве на прослойках воды с образованием аммонизированной воды, которая поглощает CO₂ с образованием карбамида. Периодичность увлажнения определяется в зависимости от состояния верхнего слоя.

Температурный фон	Микотоксины, мг/кг	
	дезоксинивалеон	трихотеценовые микотоксины
20 °С	1,82	0,107
40 °С	1,5	0,11
60 °С	0,222	0,05

Таблица 3. Содержание микотоксинов в кукурузной муке при выдержке в парах аммиака в течение суток (парциальное давление аммиака не менее 1% от давления воздуха при 0 °С)

Для активного компостирования идеально подходит соотношение углерода к азоту (С:N) от 25:1 до 30:1. При пропорции С:N ниже 20:1 задействуется весь доступный углерод без стабилизации всего азота, избыток которого может уйти в атмосферу в виде аммиака. В предлагаемом способе за счет опрыскивания слоев компостируемой смеси небольшим количеством азотного удобрения соотношение С:N будет, по крайней мере, меньше 15:1 в точках попадания капель азотного удобрения, поэтому неизбежно образование дополнительного количества аммиака, который необходим для обеззараживания компоста и аммонизации соломы. При этом выбросов газов компостирования в атмосферу не наблюдается.

Без правильной упаковки штабеля практически не происходит нагрева свиного навоза – компост будет достигать высоких температур только в ядре. Согласно [8], температура 60 °С фиксировалась на глубине 20 см от поверхности компоста. Основная его часть обеззаражена не будет, а содержащиеся в нем сорняки не потеряют свою всхожесть. В то же время при упаковке (даже без катализатора КАС и прослойки соломы) органика прогревается до 60–70 °С практически равномерно.

Именно термическая среда с повышенным содержанием аммиака приводит к удалению патогенных микроорганизмов. Если в течение недели содержание кислорода в штабеле составляет не менее 5% и не уменьшается, то компост готов к использованию в качестве удобрения; в противном случае требуется выдержка компоста, так как он не должен поглощать кислород от корней растений.

По нашему мнению, азотное удобрение КАС под действием постоянно присутствующего в компосте фермента уреазы расщепляется на аммиак и угольную кислоту. При конденсации, растворении аммиака выделяется значительное количество тепла – 2,1 МДж/кг. Согласно исследованиям [8], фермент уреазы катализирует гидролиз мочевины в 10¹⁴ раз быстрее, чем при некатализируемой реакции. Так, 1 г уреазы при комнатной температуре в течение 1 мин. расщепляет около 60 г мочевины.

При реализации приведенных рекомендаций по компостированию происходит обеззараживание навоза. Сравнительные исследования образцов компоста, обработанных по описанному методу [7], и навоза до обработки проводились Институтом экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышелесского (г. Минск).

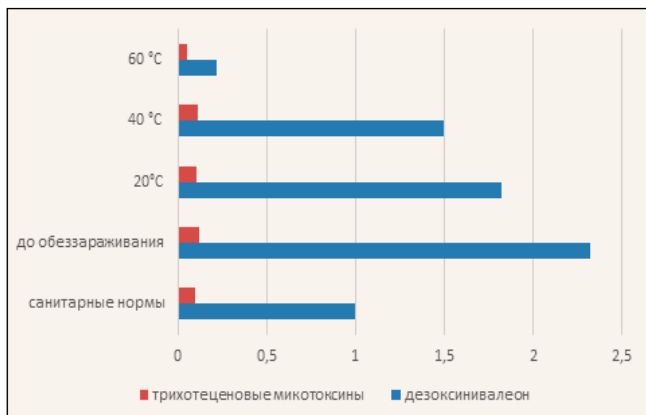


Рисунок. Оценка соответствия санитарным нормам содержания микотоксинов (мг/кг) в кукурузной муке (обработка параамиама при различном температурном фоне)

В навозе до обработок микробное число составляло $2,77 \times 10^6$ КОЕ/л, колититр – 0,00001, или 1×10^{-5} КОЕ/г, что свидетельствует о высокой микробной загрязненности образца. При исследовании видового состава выявлены патогенные и условно-патогенные эшерихии, сальмонеллы, протей, стафилококки, стрептококки, грибы.

В образцах компоста, полученного по методу [7], патогенных и условно-патогенных бактерий не было. Обнаруживались только непатогенные грибы, выросшие на агаре Сабуро. Такое удобрение можно использовать совместно с сапропелем, так как в этом случае, по данным [9], его эффективность существенно возрастает. Кроме того, не требуется длительная выдержка сапропеля на воздухе (проветривание).

Для полного обеспечения потребности растений в микроэлементах на протяжении всего периода вегетации в компост целесообразно дополнительно вносить древесный уголь, пропитанный минеральными веществами [10]. Удобрение в соответствии с предлагаемым нами изобретением формируется в многокомпонентную структуру строго избирательного действия путем отдельной пропитки различными растворами древесного угля и продуктов пиролиза фрагментов травянистых растений. Согласно работе [11], происходит синергетическое взаимодействие компоста и древесного угля; при взаимодействии золы с гуминовыми кислотами формируются нерастворимые в воде гранулы.

Д.Н. Прянишников [1] рекомендовал вводить в компост частично выщелоченную золу после промывки ее водой. Он считал этот прием превосходным способом пополнить перегной

калием, известью и другими минеральными веществами. После промывки водой, которая их содержит, можно, например, разбавлять КАС и периодически увлажнять им компост. На 1 весовую часть золы требуется около 2–4 весовых частей воды, далее необходима выдержка не менее 12 часов. Нерастворимый остаток продуктов горения также можно использовать в виде удобрения или добавки в компост. В работе [1] хорошим средством обогащения последнего калием, известью и другими минеральными веществами называется введение древесной золы. Если учесть, что в Беларуси за год ее образуется порядка 100 тыс. т за счет сжигания около 6 млн т дровесины, то такая добавка к органическим компостам вполне доступна в нашей стране и действительно может существенно повлиять на развитие отечественных аграрных технологий.

Предлагаемый термоаммиачный способ приготовления компоста позволяет получить органическое удобрение, свободное от патогенного и инфекционного начала, с удобрительной ценностью на 30–50% выше известных аналогов. Его можно рекомендовать для широкого практического применения в сельскохозяйственном производстве Беларуси, России и других стран. ■

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прянишников Д.Н. Агрохимия. – М., 1940.
2. Ромашко А. Микотоксины в зерне. Предупредить и обезвредить // Белорусское сельское хозяйство. 2015. №12(164). С. 34–35.
3. Производство и применение компоста на сельскохозяйственном предприятии: практическое руководство / Ассоциация природных ресурсов, сельского хозяйства и технического обеспечения (АРСХТ); Кооперативное общество ПО а/я 4557; ред. Роберт Рынок. – Нью-Йорк, 1992.
4. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки. Практическое пособие / пер. с нем.; под науч. ред. И.А. Реддик // <http://www.zorg-biogas.com>.
5. Богдевич И.М. Агрохимические пути повышения плодородия дерново-подзолистых почв: дис. ... д-ра с.-х. наук в форме научного доклада: 06.01.0 БелНИПА. – Минск, 1993.
6. Босак В.Н. Система удобрения в севооборотах на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах. – Минск, 2003.
7. Способ приготовления компоста многоцелевого назначения: пат. BY 18125 C05F3/00, C05F17/00 / Н.Н. Гринчик, И.П. Козловская, Н.М. Горбачев, В.Л. Драгун, В.А. Жданок, П.А. Тиво; заявитель и патентообладатель ИТМО НАН Беларуси. – Оpubл. 30.04.2014.
8. Львов Н.С. Биотермическое обезвреживание навоза. – М., 1953.
9. Лопотко М.З., Евдокимова Г.А., Кузьмицкий П.Л. Сапропели в сельском хозяйстве. – Минск, 1992.
10. Комплексное удобрение пролонгированного действия и способ его получения: пат. BY 13436 / Н.Н. Гринчик, А.В. Бухаров и др. – Оpubл. 30.08.2010.
11. Daniel Fischer and Bruno Glaser (February 1st 2012). Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration, Management of Organic Waste, Sunil Kumar and Ajay Bharti, IntechOpen, DOI: 10.5772/31200 // <https://www.intechopen.com/books/management-of-organic-waste/synergism-between-biochar-and-compost-for-sustainable-soil-amelioration>.