

УДК 631.878.2

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА ДЕСТРУКЦИЮ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ[§]

© 2023 г. А. С. Баикин^{1,*}, Е. П. Севостьянова², Е. В. Гришина²,
М. А. Каплан¹, Е. О. Насакина¹, К. В. Сергиенко¹, С. В. Конушкин¹,
С. М. Севостьянов³, С. Е. Нефедова^{2,3}, Д. В. Демин^{2,3},
А. П. Глинушкин², М. А. Севостьянов^{1,2}

¹Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН
119332 Москва, Ленинский просп., 49, Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии
143050 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Большие Вяземы, ул. Институт, влад. 5, Россия

³Институт фундаментальных проблем биологии РАН
142290 Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 2, комн. 325, Россия

*E-mail: baikinas@mail.ru

Поступила в редакцию 02.11.2022 г.

После доработки 10.11.2022 г.

Принята к публикации 15.11.2022 г.

Процесс деструкции твердых бытовых отходов происходит в основном под действием микрофлоры и приводит к потере массы за счет минерализации органического вещества, с отделением фильтрата и газов. Учитывая основные принципы действия ферментных препаратов, перспективным является создание условий для ферментации питательного раствора консорциумом микроорганизмов, например, существующих в почве. Другим перспективным направлением может быть стимуляция роста и развития аборигенной микрофлоры (микроорганизмов и грибов) за счет воздействия ПАВ и/или обеспечения предварительного гидролиза субстрата. Оценили влияние стимулирующих добавок-катализаторов на потерю массы образцов пищевых отходов и провели их сравнение. Эффект фиксировали в виде потери массы субстрата и уменьшении его объема. Были исследованы варианты катализаторов (медовая патока, белковый гидролизат, гидрофосфат калия), их сочетания, а также в качестве сравнения коммерческий препарат и вода. В анаэробных условиях показано, что потери за счет выделения газов были небольшими, при этом наибольшую эффективность показал вариант с коммерческим катализатором. В аэробных условиях при использовании в качестве катализатора сочетания патоки и щелочной среды показана более быстрая потеря массы, которая замедлялась к концу эксперимента. При этом дополнительное количество щелочи (2.8% от массы субстрата) оказало значительное влияние на субстрат за счет щелочного гидролиза компонентов, что сделало их более доступными для дальнейшей микробиологической деструкции.

Ключевые слова: деструкция пищевых отходов, ферментация, катализатор, гидролиз.

DOI: 10.31857/S0002188123020035, EDN: MRRZGK

ВВЕДЕНИЕ

Твердофазная ферментация – процесс, протекающий не в водной среде, а в массе измельченного влажного сырья [1, 2]. К настоящему времени твердофазная ферментация нашла применение в следующих процессах переработки отходов растительного сырья:

– получении ферментов,

- обогащении лигноцеллюлозного сырья белком одноклеточных организмов,
- силосовании,
- компостировании [3].

К достоинствам таких процессов следует отнести невысокие энергетические затраты, а также то, что твердофазная ферментация может функционировать как технология малого масштаба, ориентированная на местное сырье [4]. Но изготовление ферментных препаратов достаточно сложно, т.к. большинство из них катализирует какие-либо конкретные реакции в субстрате [5]. Ферменты образуются в любых живых клетках

[§]Работа выполнена в рамках реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства, предусмотренного постановлением Правительства РФ от 09.04.2010 №218 по теме “Высокотехнологичное производство грунтов методами инновационной переработки отходов” (Контракт № 075-11-2021-059 от «24» июня 2021 г., идентификатор государственного контракта 000000S407521QL90002).

организмов. В каждой клетке имеется набор различных ферментов, а их общее количество велико.

В мировой практике ферменты нашли широкое применение, особенно в фармацевтике, пищевой промышленности. Одним из перспективных направлений является применение ферментных препаратов для ликвидации нефтяных загрязнений и их использование для обработки органических отходов.

Большинство ферментов микроорганизмов индуцибельны, т.е. требуют для своего синтеза присутствия в среде индукторов. Часто индуктором является субстрат, на который действует данный фермент. Для синтеза ферментов, расщепляющих крахмал, в качестве питательной среды используют пшеничные отруби, соевую муку, для синтеза пектиназ – свекловичный жом, целлюлаз – солому, опилки, отруби, протеиназ – биошроты масляного сырья [6–20].

Для переработки отходов в России чаще используют биопрепараты с консорциумом микроорганизмов – продуцентов спектра ферментов. Такие препараты ускоряют созревание компоста в несколько раз по сравнению с любой технологией компостирования без микробиологической обработки органического вещества. При этом процесс ферментации управляем и сбалансирован. Существенно повышается теплоотдача компоста, в результате чего происходит его термическое обезвреживание – снижается жизнестойкость отдельных видов потенциально опасных микроорганизмов, семян сорняков, уничтожаются патогенные и потенциально опасные микроорганизмы человека и домашних животных, а также гельминты, многократно ускоряется их естественное отмирание. Обеззараживающие свойства биопрепаратов особенно важны для быстрого обезвреживания биологически опасных отходов, таких как навоз, помет.

Однако применение консорциумов микроорганизмов не всегда эффективно, что связано с разницей оптимумов для различных микроорганизмов, участвующих в деструкции различных компонентов органических отходов [21, 22].

Ферментные препараты американского производства класса оксидаз (Perma-zyme, AG-zyme и HC-zyme (Оксизин)) выпускает единственный в мире завод, находящийся в Лас-Вегасе, штат Невада. Биопрепарат Оксизин – это комплексная органическая композиция, полученная путем ферментации патоки сахарной свеклы, не содержит бактерий, алкоголя, вредных или генетически модифицированных веществ.

Оксизин имеет в составе специальные добавки для улучшения роста бактерий в субстрате, в который его вносят. Препарат разлагает органические соединения и нарушает процесс притяжения загрязнений к поверхностям путем нейтрализации внутренних электростатических сил. Будучи произведенным из натурального сырья, препарат совершенно безопасен для человека и окружающей среды.

Препарат EcoCatalyst™ – биоорганический катализатор (БОК) специально разработан для устранения жиров, масел и смазок (ЖМС), которые закупоривают трубы, канализацию, коллекторы и септические системы. Регулярное использование этой композиции позволяет содержать канализацию, жиरोуловители, мусородробилки, сборные колодцы, насосные станции и септические системы без засоров и без запаха. Препарат не может быть классифицирован как бактерии, ферменты, полимеры, или в качестве традиционной химии, скорее автор изобретения создал свою собственную уникальную категорию продукта для промышленности по очистке сточных вод. БОК состоит из ферментационной надосадочной жидкости, полученной из растений и минералов, которые были смешаны синергически в комбинации с неионогенным поверхностно-активным веществом, чтобы создать биоорганический катализатор широкого спектра. В отличие от обычных ПАВ, которые могут ограничить перенос кислорода, БОК самоорганизовывается и создает свободные микропузырьки, имеющие очень высокий уровень передачи кислорода. Таким образом, есть примеры успешных ферментных препаратов для переработки органических отходов, однако их спектр невелик, и их состав и схема производства являются коммерческой тайной.

Учитывая основные принципы действия ферментных препаратов, перспективным является создание условий для ферментации питательного раствора консорциумом микроорганизмов, например, существующих в почве. Другим перспективным направлением может быть стимуляция роста и развития аборигенной микрофлоры (микроорганизмов и грибов) за счет воздействия ПАВ и/или обеспечения предварительного гидролиза субстрата.

Цель работы – оценка влияния стимулирующих добавок-катализаторов на потерю массы образцов пищевых отходов и их сравнение. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи: 1 – разработать состав субстрата пищевых отходов для объективного сравнения в опыте, 2 – подготовить катализаторы для внесения, 3 – оценить действие катализаторов в анаэ-

Таблица 1. Состав субстрата для исследования

| Масса компонентов, г | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----------|--------|--------|-------|----------------|------|--------|-----------------|-----------------------|--------|
| масса тары | картофель | яблоки | опилки | кефир | хлеб черный | яйца | картон | скорлупа яиц | масло подсолнечное | творог |
| 37 | 400 | 70 | 10 | 80 | 40 | 35 | 8 | 20 | 10 | 30 |

робных условиях по количеству выделенного CO_2 , 4 – по величине потери массы образца оценить действие катализаторов за процессы отделения фильтрата и минерализации субстрата.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Процесс деструкции твердых бытовых отходов происходит в основном под действием микрофлоры и приводит к потере массы за счет минерализации органического вещества, с отделением фильтрата и газов. Эффект может быть зафиксирован в виде потери массы субстрата и уменьшения его объема. Можно оценивать качественный и количественный состав газов, объем фильтрата, наличие (многообразие и количество) микроорганизмов.

Для проведения опытов были предложены пробные варианты биокатализаторов: медовая патока (3 ложки меда + 3 ложки сахара + 1 ложка воды, кипятить 5–7 мин); белковый гидролизат (50 г отмытых червей + 500 мл 0.1%-ного раствора NaOH pH 6.6; соль ($\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$, 10 г в 100 мл H_2O , pH 9.4). С их использованием в работе изучены варианты катализаторов под номерами 2–5, а также 2 варианта контроля (вода – вариант 1 и уже применяемый коммерческий биокатализатор – вариант 6):

1 – контроль – вода, использованная для приготовления растворов;

2 – раствор патоки + раствор $\text{K}_2\text{HPO}_4 \times 3\text{H}_2\text{O}$ (1:1) (pH 9.15);

3 – раствор патоки 50 мл + гидролизат 3.0 мл + 1.5 мл раствора соли (pH 6.4);

4 – раствор гидролизата (pH 6.6);

5 – раствор патоки;

6 – биокатализатор Bio-organic catalyst (Eccomate) 0.03 мл + 10 мл воды.

Катализаторы вносили в количестве 10 мл на 1 сосуд субстрата. Состав субстрата и его исходная масса представлены в табл. 1. Влажность картофеля – 72, яблок – 52.2%.

Компоненты субстрата измельчали с использованием ломтерезки WestMark для получения равномерных фракций компонентов (картофель, яблоки, хлеб, вареные яйца). Полученные компоненты засыпали в сосуды – пластиковые бутылки объемом 1.5 дм³. Вносили растворы катализаторов и перемешивали встряхиванием.

Опыт состоял из 2-х фаз: 1 – анаэробные условия, 2 – аэробные условия. В 1-й фазе сосуды с обработанными субстратами закрывали пробками с закрепленными резиновыми трубками, которые присоединили к дефлегматору, заполненному 15 мл 1 н. NaOH для фиксации CO_2 . С дефлегматора трубкой присоединяли к колбозатвору с 1 н. NaOH для предотвращения контакта раствора в дефлегматоре с атмосферным воздухом. Таким образом, газы, выделявшиеся из субстратов, проходили через раствор в дефлегматоре и через затвор в атмосферу. Повторность в опыте пятикратная.

Для оценки эффекта стимуляции катализаторами процессов разложения в анаэробных условиях фиксировали выход CO_2 : 1 раз в сутки проводили отбор растворов щелочи из дефлегматоров для последующей оценки содержания CO_2 титрованием 1 н. HCl в присутствии индикатора фенолфталеина. Взвешивание сосудов для оценки потери веса проводили на весах Ohaus серии Scout Pro, 6000 г, точность ± 1 г.

Во 2-й фазе после взвешивания сосудов, через 13 сут от начала опыта в сосудах были сделаны дренажные отверстия для слива фильтрата. Вместо пробок горлышки были закрыты парафиновой лентой и проделаны отверстия размером 3 мм для воздухообмена. Фиксировали изменение веса сосудов и внешний вид образца.

В процессе эксперимента фиксировали температуру внешней среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первая анаэробная фаза опыта. С самого начала эксперимента наблюдали интенсивное выделение газов, которое зафиксировали через актив-

Таблица 2. Потери массы субстрата в 1-й анаэробной фазе опыта

| Вариант | Масса образцов (вместе с сосудами), г | | | | Потери массы от исходной, г |
|---------|---------------------------------------|-------|--------|-----------------------|-----------------------------|
| | исходная | 8 сут | 14 сут | контрольное измерение | |
| 1 | 736 | 735 | 729 | 728 | 8 |
| 2 | 730 | 725 | 724 | 723 | 7 |
| 3 | 733 | 730 | 728 | 728 | 5 |
| 4 | 736 | 732 | 729 | 728 | 8 |
| 5 | 738 | 750* | 742 | 741 | —* |
| 6 | 736 | 729 | 727 | 727 | 9 |

*В данный образец щелочь из дефлегматора (20 мл за 2-е сут) была затянута в сосуд, что изменило массу субстрата в варианте 5 и не позволило объективно сравнить его с другими вариантами.

Таблица 3. Потери массы образцов во 2-й аэробной фазе опыта

| Вариант | Масса образцов, г | | | | | Потери массы от исходной | |
|---------|-------------------|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------------------------|------|
| | исходная | 13 сут (окончание анаэробной фазы) | 14 сут | 19 сут | 21 сут | г | % |
| 1 | 699 | 691 (–1.1%) | 640 | 578 | 573 | 126 | 18.0 |
| 2 | 693 | 686 (–1.0%) | 636 | 557 | 553 | 140 | 20.2 |
| 3 | 696 | 691 (–0.7%) | 657 | 559 | 554 | 142 | 20.4 |
| 4 | 698 | 690 (1.1%) | 676 | 646 | 640 | 58 | 8.3 |
| 5 | 701 | 712 | 607 | 532 | 520 | 181 | 25.8 |
| 6 | 699 | 690 (–1.3%) | 668 | 569 | 553 | 146 | 20.9 |

Примечание. В скобках – потери массы от исходной в течение анаэробной фазы, %.

ное прохождение газов через раствор щелочи в дефлегматорах и затворах. Результаты потери массы субстратом в анаэробных условиях представлены в табл. 2.

Таким образом, потеря массы за счет выделения газов при разложении органического вещества субстрата в вариантах выстроена в ряд по мере убывания: 6 > 1 = 4 > 2 > 3. Коммерческий препарат в анаэробных условиях показал максимальное уменьшение массы субстрата за счет дыхания. Далее с минимальным отставанием следовали контроль (без добавок) и вариант с раствором гидролизата. Замыкал ряд вариант 3 (раствор патоки 50 мл + гидролизат 3 мл + 1.5 мл раствора соли). При этом произошло обильное отделение фильтра в нижнюю часть сосудов.

Вторая аэробная фаза опыта. Через 13 сут в сосудах были сделаны дренажные отверстия для слива фильтра. Вместо пробок горлышки были закрыты парафиновой лентой и проделаны отверстия размером 3 мм для воздухообмена. Произошло интенсивное отделение фильтра

(табл. 3). Исключение составил вариант 4 (с гидролизатом), который продолжал удерживать воду.

Таким образом, за первые 2 недели в анаэробных условиях потери массы субстрата за счет выделения газов были небольшими, при этом первую тройку составили варианты с коммерческим катализатором, контроль и гидролизатом червей. Во всех вариантах образовался фильтр, скопившийся в нижней части сосудов.

Перевод в режим слива фильтра и слабого доступа воздуха сверху показал, что в течение 1 сут масса субстрата заметно уменьшилась. Учитывая, что выделение газов было незначительным, потеря массы субстрата произошла за счет потерь с фильтратом, но скорость его отделения была разной из-за различной вязкости, часть фильтратов выглядела как слизь, в первую очередь в варианте с гидролизатом.

Наибольший интерес представляли результаты, полученные после 21 сут опыта. В варианте с коммерческим катализатором уменьшение массы

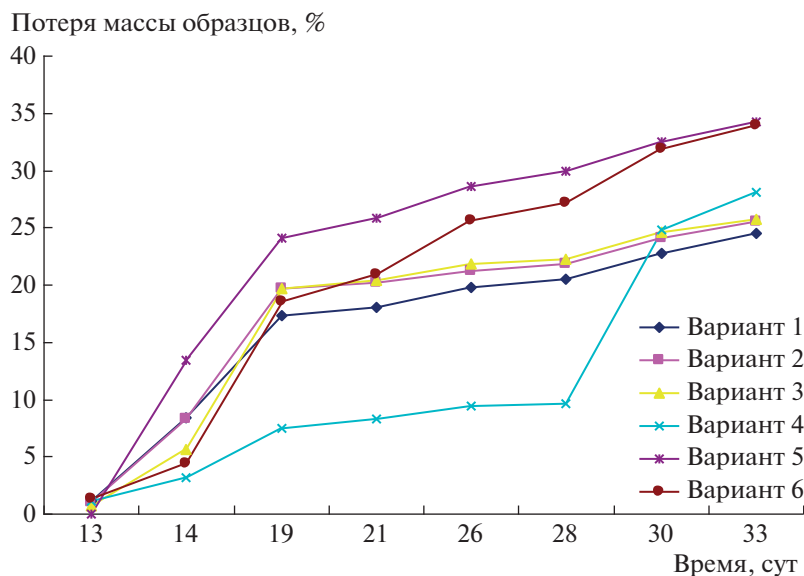


Рис. 1. Потеря массы образцов во 2-й аэробной фазе опыта, %.

субстрата было близким с вариантами 2 и 3. Отличие вариантов составило $\approx 0.5\%$.

Максимальное уменьшение массы тестируемого субстрата (на 25%) было отмечено в варианте с патокой, в котором в сосуд с субстратом затыкнуло щелочь из дефлегматора. В этом случае явно оказал влияние щелочной гидролиз массы субстрата.

Дополнительным эффектом было зарастание верхней части субстрата плесенью в течение 5-ти сут. В зависимости от количества появившейся плесени построили следующий ряд вариантов: $6 > 3 > 5 > 2 > 4 = 1$, где в вариантах 6 и 3 – обильно, 5 и 2 – местами росла плесень, а в вариантах 4 и 1 плесени практически не было.

Сходство зарастания в варианте 6 с катализатором и в варианте 3 с раствором патоки с добавками, а также схожие результаты потери массы субстрата в этих вариантах позволили предположить, что в дальнейшем необходимо провести опыты с подбором оптимальной концентрации патоки в растворах и в условиях изначального отведения фильтратов и доступом воздуха. Вариант катализатора на основе гидролизата червей для дальнейшего исследования следует оптимизировать. Также необходимо провести проверку действия ферментированной патоки.

Спустя 28 сут образцы в сосудах встряхнули и насколько возможно перемешали. После этого возобновилось отделение фильтрата и потеря массы субстрата.

Потеря массы в образцах после встряхивания увеличилась, при этом в варианте 5 осталась

прежней, в варианте с биокатализатором возросла почти в 2 раза, в варианте 4 произошло отделение фильтрата от массы субстрата, и он сравнялся с вариантами 2 и 3. Контроль замыкал этот ряд (рис. 1, табл. 3). Получился ряд вариантов в зависимости от величины потери массы субстрата: $5 = 6 > 4 > 3 = 2 > 1$. Таким образом, скорость потери массы субстрата снова замедлилась, за исключением варианта 4.

ВЫВОДЫ

1. В первые 2 недели опыта в анаэробных условиях потери биомассы субстрата за счет выделения газов были небольшими, при этом первую тройку составляли варианты с катализаторами на основе коммерческого препарата, контроль и гидролизата червей. Во всех вариантах образовался фильтрат, скопившийся в нижней части сосудов.

2. Перевод сосудов в режим слива фильтрата и слабого доступа воздуха сверху показал, что в течение 1 сут масса субстратов заметно уменьшилась. Учитывая, что выделение газов было незначительным, потеря массы произошла за счет потерь с фильтратом, но скорость отделения была разной из-за различной вязкости, часть фильтрата выглядела как слизь, в первую очередь в варианте с гидролизатом.

3. Отмечено зарастание верхней части субстратов плесенью (грибами) в течение 5-ти сут после перевода сосудов в условно аэробный режим (отток фильтрата, слабая вентиляция сверху). В зависимости от количества появившейся плесени

построили следующий ряд вариантов: $6 > 3 > 5 > 2 > 4 = 1$, где в вариантах 6 и 3 – обильно, 5 и 2 – местами росла плесень, а в вариантах 4 и 1 плесени практически не было.

4. В варианте 5 (раствор патоки + щелочь) и варианте 6 (коммерческий препарат) на 28-е сут (через 4 нед) отмечены максимальные потери массы субстрата за счет образования фильтрата и минерализации (29.9 и 27.2% соответственно). При этом заметно уменьшился объем субстрата, компоненты приобрели выраженный бурый цвет, т.е. фиксировали начало процесса гумификации. Скорость потери массы уменьшилась, что было связано, по-видимому, с уменьшением влажности субстрата.

5. Показано, что в варианте 5 дополнительное количество щелочи (2.8% от массы субстрата) оказало значительное влияние на субстрат за счет щелочного гидролиза компонентов, что сделало их более доступными для дальнейшей микробиологической деструкции.

6. Коммерческий катализатор – Bio-organic catalyst (Ессомате), внесенный в расчетной концентрации, оказывал стабильное и постоянное действие на субстрат за счет заявленных, но не раскрытых компонентов (ферментов и ПАВ).

7. После 28 сут образцы встряхнули (перемешали), после чего процесс деструкции субстрата интенсифицировался, особенно в варианте 4 с гидролизатом, где началось отделение фильтрата. В этом варианте был использован раствор с неполным гидролизом, что, видимо, привело к удержанию жидкости в субстрате (повысилась вязкость раствора), а также некоторому бактерицидному эффекту по отношению к грибам. Процесс деструкции субстрата за счет этого замедлился. На 33-и сут вариант 5 (раствор патоки + щелочь) и вариант 6 (коммерческий препарат) по потере массы субстрата сравнялись.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Couto S.R., Sanromán M.Á. Application of solid-state fermentation to food industry: A review // J. Food Eng. 2006. V. 76 (3). P. 291–302.
2. Manan M.A., Webb C. Modern microbial solid state fermentation technology for future biorefineries for the production of added-value products // Biofuel Res. J. 2017. V. 16. P. 730–740.
3. Ghosh J.S. Solid state fermentation and food processing: a short review // J. Nutr. Food Sci. 2016. V. 6 (1). P. 1–7.
4. Al-Wahaibi, Osman A.I., Al-Muhtaseb A.H., Alqaisi O., Baawain M., Fawzy S., Rooney D.W. Techno-economic evaluation of biogas production from food waste via anaerobic digestion // Sci. Rep. 2020. V. 10 (1). P. 15719.
5. Mitchell D.A., Berovic M., Krieger N. Biochemical engineering aspects of solid state bioprocessing new products and new areas of bioprocess engineering. Advances in biochemical // Engineering/Biotechnology. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000. V. 68.
6. Lizardi-Jimenez M.A., Hernandez-Martinez R. Solid state fermentation (SSF): diversity of applications to valorize waste and biomass // 3 Biotech. 2017. V. 7 (1). P. 44.
7. Yazid N.A., Barrena R., Komilis, Sánchez A. Solid-state fermentation as a novel paradigm for organic waste valorization: a review // Sustainability. 2017. V. 9 (2). P. 1–28.
8. Balkan B., Ertan F. Production of α -amylase from *Penicillium chrysogenum* under solid-state fermentation by using some agricultural by-products // Food Technol. Biotechnol. 2007. V. 45 (4). P. 439–442.
9. Awan M.S., Jalal F., Ayub N., Akhtar M.W., Rajoka M.I. Production and characterization of α -galactosidase by a multiple mutant of *Aspergillus niger* in solid-state fermentation // Food Technol. Biotechnol. 2009. V. 47 (4). P. 370–380.
10. de Oliveira R.L., da Silva M.F., Converti A., Porto T.S. Production of β -fructofuranosidase with transfructosylating activity by *Aspergillus tamarii* URM4634 solid-state fermentation on agroindustrial by-products // Inter. J. Biol. Macromol. 2020. V. 144. P. 343–350.
11. Liu J., Yang J. Cellulase production by *Trichoderma koningii* AS3.4262 in solid-state fermentation using lignocellulosic waste from the vinegar industry // Food Technol. Biotechnol. 2007. V. 45 (4). P. 420–425.
12. Bhatti H.N., Rashid M.H., Nawaz R., Asgher M., Perveen R., Jabbar A. Optimization of media for enhanced glucoamylase production in solid-state fermentation by *Fusarium solani* // Food Technol. Biotechnol. 2007. V. 45 (1). P. 5156.
13. Singh R.S., Chauhan K., Singh J., Pandey A., Larroche C. Solid-state fermentation of carrot pomace for the production of inulinase by *Penicillium oxalicum* BGPUP-4 // Food Technol. Biotechnol. 2018. V. 56 (1). P. 31–39.
14. Falony G., Armas J.C., Mendoza J.C.D., Hernández J.L.M. Production of extracellular lipase from *Aspergillus niger* by solid-state fermentation // Food Technol. Biotechnol. 2006. V. 44 (2). P. 235–240.
15. Silva D., da Silva Martins E., da Silva R., Gomes E. Pectinase production by *Penicillium viridicatum* RFC3 by solid state fermentation using agricultural wastes and agro-industrial by-products // Braz. J. Microbiol. 2002. V. 33 (4). P. 318–324.
16. Joshi V.K., Parmar M., Rana N.S. Pectin esterase production from apple pomace in solid-state and submerged fermentations // Food Technol. Biotechnol. 2006. V. 44 (2). P. 253–256.
17. Mussatto S., Ballesteros L.F., Martins S., Teixeira J.A. Use of agro-industrial wastes in solid-state fermentation processes / Eds. Show K.-Y., Guo X. Industrial Waste, IntechOpen, 2012. 274 p.
18. Vijayaraghavan P., Vincent S.G.P., Arasu M.V., Al-Dhabi N.A. Bioconversion of agro-industrial wastes for the production of fibrinolytic enzyme from *Bacillus hal-*

- odurans* IND18: purification and biochemical characterization // Electron. J. Biotechnol. 2016. V. 20. P. 1–8.
19. Sharma G., Gupta V., Khan M., Balda S., Gupta N., Capalash N., Sharma P. Flavonoid-rich agro-industrial residues for enhanced bacterial laccase production by submerged and solid-state fermentation // 3 Biotech. 2017. V. 7 (3). P. 200.
20. Namasivayam E., Ravindar J.D., Mariappan K., Jiji A., Kumar M., Jayaraj R.L. Production of extracellular pectinase by *Bacillus cereus* isolated from market solid waste // J. Bioanal. Biomed. 2011. V. 3 (3). P. 7075.
21. Pandey A. Solid-state fermentation // Biochem. Engin. J. 2003. V. 13. Iss. 2–3. P. 81–84.
[https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(02\)00121-3](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(02)00121-3)
22. Singhania R.R., Patel A.K., Soccol C.R., Pandey A. Recent advances in solid-state fermentation // Biochem. Engin. J. 2009. V. 44 (1). P. 13–18.
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.019>

Assessment of the Effect of Various Catalysts on the Destruction of Food Waste during Their Processing

**A. S. Baikina^{a, #}, E. P. Sevostyanova^b, E. V. Grishina^b, M. A. Kaplan^a,
E. O. Nasakina^a, K. V. Sergienko^a, S. V. Konushkin^a, C. M. Sevostyanov^c,
S. E. Nefedova^{b, c}, D. V. Demin^{b, c}, A. P. Glinushkin^b, and M. A. Sevostyanov^{a, b}**

^a*A.A. Baikov Institute of Metallurgy and Materials Science of the RAS
Leninskiy prosp. 49, Moscow 119334, Russia*

^b*All-Russian Research Institute of Phytopathology
ul. Institut, vlad. 5, Moscow region, Odintsovo district, p. Bolshye Vyazemy 143050, Russia*

^c*Institute of Fundamental Problems of Biology of the RAS
ul. Institutskaya 2, Moscow region, Pushchino 142290, Russia*

[#]*E-mail: baikinas@mail.ru*

The process of destruction of solid household waste occurs mainly under the action of microflora and leads to mass loss due to mineralization of organic matter, with separation of filtrate and gases. Considering the basic principles of the action of enzyme preparations, it is promising to create conditions for fermentation of the nutrient solution by a consortium of microorganisms, for example, existing in the soil. Another promising direction may be to stimulate the growth and development of native microflora (microorganisms and fungi) due to the effects of surfactants and/or providing preliminary hydrolysis of the substrate. The effect of stimulating catalyst additives on the weight loss of food waste samples was evaluated and compared. The effect was recorded in the form of a loss of substrate mass and a decrease in its volume. Variants of catalysts (honey syrup, protein hydrolysate, potassium hydrophosphate), their combinations, as well as a commercial drug and water as a comparison were investigated. Under anaerobic conditions, it was shown that the losses due to the release of gases were small, while the option with a commercial catalyst showed the greatest efficiency. Under aerobic conditions, when using a combination of molasses and an alkaline medium as a catalyst, a faster mass loss was shown, which slowed down by the end of the experiment. At the same time, an additional amount of alkali (2.8% of the substrate weight) had a significant effect on the substrate due to the alkaline hydrolysis of the components, which made them more accessible for further microbiological destruction.

Key words: destruction of food waste, fermentation, catalyst, hydrolysis.