

БИОУТИЛИЗАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ОСТАТКОВ С ПОМОЩЬЮ МИКРООРГАНИЗМОВ

Т. И. Пятакова¹⁾, К. А. Бойко¹⁾, И. В. Налетов¹⁾

¹⁾ ЗАО «Струнные технологии», ул. Железнодорожная 33
220014, г. Минск, Беларусь, t.pyatakova@unitsky.com

В статье описаны результаты биоутилизации отходов растительного происхождения микроорганизмами (бактериями) для значительного облегчения переработки органического мусора. Проведены испытания по подбору ассоциаций микроорганизмов, посредством которых осуществлялся процесс биоутилизации для достижения необходимой степени фрагментации органических отходов и оценки её влияния на скорость биоутилизации. Описан опыт применения биоутилизированных остатков (жидкого компоста) в качестве органической подкормки для растений.

Ключевые слова: биоутилизация; азотфиксирующие микроорганизмы; целлюлозолитические микроорганизмы; жидкий компост.

BIOUTILIZATION OF ORGANIC WASTE USING MICROORGANISMS

T. I. Pyatakova¹⁾, K. A. Boyko¹⁾, I. V. Naletov¹⁾

¹⁾ Unitsky String Technologies, Inc., Zheleznodorozhnaya str. 33
220014, Minsk, Belarus, t.pyatakova@unitsky.com

The article describes the results of the bioutilization of plant waste by microorganisms (bacteria) to significantly facilitate the processing of organic waste. Tests were conducted to select associations of microorganisms through which the bioutilization process was carried out to achieve the necessary degree of fragmentation of organic waste and assess its impact on the rate of bioutilization. The experience of using bioutilized residues (liquid compost) as organic fertilizer for plants is described.

Keywords: bioutilization; nitrogen-fixing microorganisms; cellulolytic microorganisms; liquid compost.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2025-2-193-197>

Органические отходы в процессе ведения хозяйственной деятельности человека, всегда будут неотъемлемой частью. Накопление органических веществ ведёт к проблемам с окружающей средой, путём загрязнения продуктами распада органики. Общее содержание органических веществ в твёрдых бытовых отходах может достигать до 40 % [1]. Одним из методов переработки является компостирование, постепенная биодеструкции органики под действием постепенной деструкции органики. Однако существенный недостаток – высокая экспозиция временного процесса (от четырёх до шести месяцев). В среднем пищевые отходы разлагаются на протяжении месяца, однако при наличии в отходах высокой концентрации вторичных метаболитов то такая органика разлагается очень долго, например, апельсиновым коркам необходимо до шести месяцев до полной деструкции, а яблочные огрызки содержащие пергамент в семенных камерах и плотный эндосперм семян – за два месяца.

Альтернативным методом переработки является биоутилизация. Механизм аналогичен компостированию, но все процессы существенно интенсифицируются за счёт применения микробиологических инокулятов. Этот метод является наиболее безопасным, биологически чистым и наименее трудоёмким [2].

С микробиологической точки зрения компостирование – это экзотермический процесс биологического окисления, при котором органический субстрат подвергается аэробной биодеградации ассоциаций микроорганизмов в условиях повышенной температуры и влажности.

Микробиота не только определяет качество и скорость созревания компоста, но и влияет на окружающую среду при попадании микроорганизмов в почву.

В процессе компостирования органические вещества, такие как белки, пептиды, аминокислоты, аммонийные соединения, углеводы, простые сахара, органические кислоты и другие, подвергаются окислению кислородом. Кроме того, образуются новые органические вещества, а также образуется вода, углекислый газ, аммиак и неприятно пахнущие газы, выделяя тепло. Это означает, что пищевые отходы могут быть использованы в качестве полезных органических удобрений благодаря их минеральному составу, включая макро- и микроэлементы, необходимые для питания живых организмов.

В качестве органической массы в эксперименте использовались различные пищевые отходы. Пищевые отходы, по сути, являются жирами, белками и углеводами. Исходя из этого, подбор микроорганизмов осуществлялся по принципу совместимости и взаимодополняемости.

Для получения суспензии клеток (далее – инокулят) применялись агрономически ценные микроорганизмы (целлюлозолитические и азотфиксирующие): *Bacillus amyloliquefaciens* БИМ В-1236, *Aeromonas sp.*, *Citrobacter sp.*, *Paeniclostridium sp.*, *Azotobacter vinelandii* БИМ В-75, выделенные из плодородных почв различных регионов мира.

На начальном этапе эксперимента к 100 г пищевых отходов добавляли инокулят, состоящий исключительно из целлюлозолитических микроорганизмов (*Bacillus amyloliquefaciens* БИМ В-1236, *Aeromonas sp.*, *Citrobacter sp.*, *Paeniclostridium sp.*) в объемах 50 мл, 100 мл, 150 мл, 200 мл и 1 литр (контроль), и оставляли в термостате при температуре $(32,5 \pm 2) ^\circ\text{C}$ на семь дней до полного разложения.

На втором этапе (на седьмой день) в полученный в результате разложения компост добавляли азотфиксирующие культуры (*Azotobacter vinelandii* БИМ В-75) и оставляли ещё на три дня. Результаты регистрировали на седьмой и десятый день эксперимента. Учитывали такие параметры, как содержание азота и общее микробиологическое число (ОМЧ).

На третьем этапе полученный жидкий компост использовали в качестве органического удобрения для салата (*Lactuca sativa* L.). Перед посадкой семян в субстрат в соотношении 1:20 и 1:50 добавляли компост каждого объема инокулята (50 мл, 100 мл, 150 мл, 200 мл и контроль), а также минеральное удобрение, содержащее азот, фосфор и калий (NPK).

На второй день после начала первого этапа эксперимента в образцах наблюдалось значительное брожение и выделение газа по сравнению с первым днём. Помимо продолжающегося брожения и выделения газа в течение семи дней, были отмечены изменения цвета образцов. Количество органических остатков уменьшилось, и появился резкий неприятный запах. Данные наблюдения свидетельствуют о правильно подобранных условиях для развития и питания микроорганизмов. Биодеструкция органических остатков протекала активно.

По завершении эксперимента полученный жидкий компост был проанализирован на содержание азота для сравнения уровней до и после добавления азотфиксирующих бактерий, а также на общее микробиологическое число (ОМЧ). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты биодеструкции органических остатков при помощи сообщества целлюлозолитических и азотфиксирующих микроорганизмов

Объём инокулята	Содержание азота в осадке, мг/100 г		ОМЧ, КОЕ/мл	
	7-й день	10-й день	7-й день	10-й день
50 мл	2494,2	2255,06	9×10^9	1×10^9
100 мл	3228,2	3360,8	3×10^9	5×10^8
150 мл	1172,4	4251,85	9×10^8	1×10^8
200 мл	2252,7	3859,29	4×10^9	4×10^8
Контроль	2575,6	5227,27	3×10^8	3×10^7

Внесение азотфиксирующей культуры (*Azotobacter vinelandii* БИМ В-75) увеличило содержание азота в образцах в среднем на 30 % за трое суток. Наилучшие результаты показали компост с объёмом инокулята 150 мл и контроль. Показатель ОМЧ несколько снизился во всех образцах, что может свидетельствовать о недостаточном количестве кислорода для микроорганизмов из-за выделения газа.

В лабораторных условиях был проведён эксперимент по определению пригодности ферментированного остатка после биодеструкции органического вещества выбранной бактериальной ассоциацией [3].

Использовалась облегчённая почва объёмом 20 л, супесь с содержанием следующих микроэлементов (мг/кг почвы): N – 45, P – 68, K – 80, Mg – 12, Ca – 14, Fe – 0,04, Мг – 0,01. Органические остатки после биоутилизации вносились в различных вариациях (см. табл. 2). Температуру в период роста и развития культур поддерживали на уровне 25 – 28°C.

Таблица 2

Варианты смеси почвы при pH 6,8

Состав почвы	Содержание минеральных компонентов, мг/кг почвы					Добавление органической части, г/кг почвы
	N	P	K	Mg	Ca	
Контроль с добавлением NPK	50	80	140	12	20	–
Контроль без добавления компонентов	45	68	80	12	14	–
Вариант 1						0,005
Вариант 2						0,002
Вариант 3						0,05
Вариант 4						0,02
Вариант 5						0,15
Вариант 6						0,1
Вариант 7						0,2
Вариант 8						0,25

Объект исследования – салат-латук (*Lactuca sativa* L.) – обладает высокой скоростью роста и быстрой отзывчивостью на различные элементы и компоненты, находящиеся в почве. В неё перед высевом культур вносились органические остатки согласно таблице 4; затем проводился физиологический анализ растений.

Бактерии, присутствующие в почве, не оказывали патогенной нагрузки на прорастание семян и не оказывали прямого влияния на рост и развитие. Визуальный осмотр корневых систем ростков не выявил никаких признаков гниения или дефектов. Поверхность листьев выглядела жизнеспособной и здоровой во время прорастания. В ходе эксперимента использовались селективные среды для обнаружения патогенных микроорганизмов на листьях салата, таких как *Escherichia coli*, *Salmonella*, семейство *Enterobacter* и *Staphylococcus aureus*. Результаты показали отсутствие грибковых и бактериальных заболеваний.

Данные, полученные в ходе эксперимента, представлены в таблице 3. Варианты почвы 4 и 5 показали лучшие результаты по сравнению с контролем с добавлением NPK. Варианты 3, 6 и 7 показали хорошие результаты, средний размер растений составил 27,5 см.

Средний размер салата с корнем

Состав почвы	Средний размер салата с корнем, см	Средний размер листовой пластины, см ²
Вариант 1	24	13,7
Вариант 2	25	12,8
Вариант 3	27,5	15,4
Вариант 4	31	12,1
Вариант 5	30	13,3
Вариант 6	27,1	13,4
Вариант 7	28	12,0
Вариант 8	23,3	11,9
Контроль без добавления компонентов	25	10,8
Контроль с добавлением NPK	26	11,7

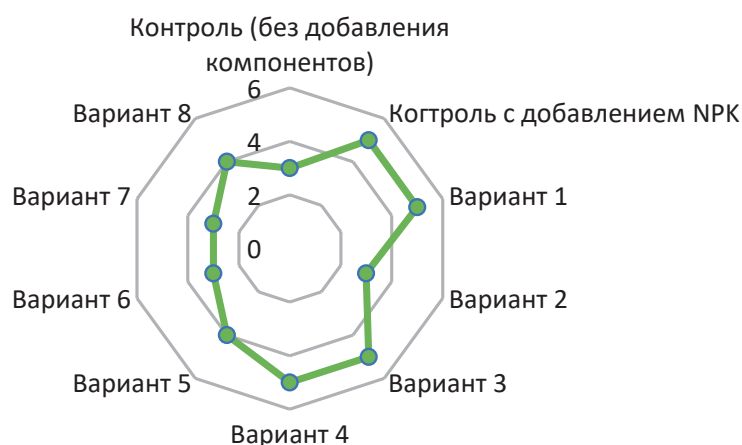
В дальнейшем вариант 3 показал быстрый рост салата по сравнению с контролем с NPK – в пять раз выше. Растения в варианте 1 также показали хорошие результаты, превзойдя контроль примерно в четыре раза.

Число листовых пластинок оставалось постоянным во всех опытных вариантах, что свидетельствует о последовательном развитии растений в соответствии с генетической программой. Однако площадь листьев варьировалась в зависимости от объёма внесённого инокулята. Так, в варианте 3 она составила 15,4 см² (на 32 % больше, чем контроль NPK), в варианте 1 – 13,7 см², а в варианте 4 – 12,1 см². Увеличение площади листьев может быть связано с двумя основными факторами: поглощением нитратов и нитритов в свободной форме, присутствующих в почве, и наличием внеклеточных бактериальных ферментов, схожих по действию с фитогормонами или элиситорами, влияющими на ростостимулирующие показатели.

При повышении уровня фитогормонов запускаются ростостимулирующие процессы, что приводит к увеличению длины междоузлий и высоты культур, однако подобного не зафиксировано в эксперименте.

Вкусовые качества *L. sativa* оценивались по пятибалльной шкале качества, где 1 – горьковато-кислый вкус со слабовыраженным ароматом зелени; 2 – кислый вкус с мягким зелёным ароматом; 3 – слегка горьковатый вкус с ароматом свежей зелени; 4 – слабо выраженный горький вкус с ароматом зелени; 5 – отчётливый салатный вкус без горечи. Оценка проводилась дегустационной группой, в которую вошли 30 человек различной гендерной и возрастной принадлежности. Средний дегустационный балл для всех вариаций представлен на рисунке 1.

Вкусовые характеристики салата в вариантах 1, 3 и 4 превосходили контрольные. Во всех остальных вариантах растения не достигли контрольных показателей.



Оценка вкусовых свойств салата, выращенного в различных грунтах

В ходе исследования подобраны агрономически ценные микроорганизмы, способствующие процессу биоутилизации пищевых отходов. К четвёртому дню эксперимента органические остатки практически полностью разложились. Продукты ферментации использовали в качестве органического удобрения при посеве семян салата. Результаты эксперимента показали, что в вариантах почвы 1, 3 и 6 площадь листьев была в среднем на $2,5 \text{ см}^2$ больше, чем в контроле с NPK. Кроме того, в вариантах 4, 5 и 7 размер салата с корнями был в среднем на $3,7 \text{ см}$ больше, чем в контроле с NPK.

Библиографические ссылки

1. Систер, В. Г., Мирный А. Н. Выбор технологий обезвреживания отходов с учётом их состава и свойств // Твёрдые бытовые отходы. 2009. № 1 (31). С. 16–21. (статья в печатном журнале, 2 автор)
2. Microbial Strategies for Bio-Transforming Food Waste into Resources / P. Sharma [et. al] // Bioresource Technology. 2020. Vol. 299. P 122580. (статья в печатном журнале, более 3-х авторов)
3. Заяц, В. С., Налёттов И. В., Крюков Е. А. Протекторная способность экзогенных элиситоров из *Ganoderma lucidum* при индукции солевого стресса у кресс-салата // Настоящее и будущее биотехнологии растений: материалы междунар. науч. конф., Минск, 24–26 мая 2023 г. Минск: ИВЦ Минфина, 2023. С. 75. (статья в печатных материалах конференции, 3 автора)