

УДК 631.861.871

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИХ СПОСОБОВ БИОКОНВЕРСИИ ТОРФОНАВОЗНЫХ СМЕСЕЙ И ОТХОДОВ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В.П. Молчанов, М.Г. Сульман, Е.И. Шиманская, Ю.Ю. Косивцов

Тверской государственной технической университет, Тверь

В статье представлены результаты экспериментов по исследованию влияния отходов пищевой промышленности на процесс биоконверсии органического сырья, на кинетику накопления биологически активных веществ, состав продуктов биокаталитической конверсии, синтез ферментов и показатели ферментативной активности.

***Ключевые слова:** биоконверсия, отходы пищевой промышленности, сельскохозяйственные отходы, торфонавозные смеси, утилизация отходов, ресурсосберегающие технологии, экологически чистые технологии, органические удобрения.*

Одним из важных направлений биотехнологии является разработка способов утилизации отходов животноводческих комплексов и отходов пищевой промышленности [1; 2], их обезвреживания и сохранения в качестве эффективных удобрений [3]. Целесообразность осуществления таких процессов определяют главным образом экономические и технические факторы. Продукты, полученные биотехнологическими методами, выгодно отличаются от традиционных химических тем, что сырьем для их получения служат возобновляемые материалы животного и растительного происхождения, а также отходы различных производств [4; 5]. Экономические и экологические вопросы этих проблем определяют актуальность разработки эффективных биотехнологических способов переработки отходов животноводческих комплексов и пищевой промышленности с целью их обезвреживания и получения практически ценных продуктов [6].

В настоящее время разработаны биотехнологические способы получения органических удобрений на основе компостирования отходов сельского хозяйства и кормовых продуктов на основе отходов пищевой промышленности [7–9]. Проведенные ранее на базе Регионального технологического центра Тверского государственного университета совместно с Всероссийским научно-исследовательским институтом мелиорированных земель исследования показали возможность получения удобрения биоконверсией торфонавозной

смеси при повышенной температуре и аэробно-анаэробных условиях. Однако оптимальные режимы процесса исследованы не были. Таким образом, определение параметров биоконверсии является весьма актуальной задачей как с научной, так и с практической точки зрения.

Предметом исследований в данной работе являлся ресурсосберегающий процесс биоконверсии целлюлозолигниновых субстратов с добавками отходов пищевой промышленности и биологически активных соединений под действием микроорганизмов, первоначально находящихся в отходах животноводства (навозе). В проведенных экспериментах изучалось влияние на процесс биоконверсии отходов пищевых производств, являющихся наиболее крупномасштабными для Тверской области и города Твери: молокоперерабатывающей промышленности, крахмалопаточного и хлебопекарного производства. В качестве отходов молокоперерабатывающей промышленности был взят обрат после сепарации молока, крахмалопаточного производства – картофельная мезга и хлебопекарного – сухари. Первоначально отходы добавляли в количестве 5 % (масс.) к общей массе смеси.

Исследования проводились при аэробно-анаэробном протекании процесса, зарекомендовавшим себя как более эффективным, при следующих условиях:

Соотношение торф:навоз	50/50	
pH	7,0	
Аэрация	Периодичность	24 часа
	Продолжительность	30 минут
Продолжительность процесса	Инкубации	60 часов
	Пастеризации	48 часов
	Температура	
	Инкубации	37 °C
	Пастеризации	80 °C

Из полученных экспериментальных данных, приведенных в табл.1, видно, что наиболее активными добавками по продуктивности оказались отходы хлебопекарной промышленности, которые, вероятно, содержат высокоактивные стимуляторы роста микроорганизмов: питательные вещества из разрушенных дрожжевых клеток, углеводы, белки и т.д. Величина продуктивности увеличивается в 1,5 раза по сравнению с опытом без внесения добавок. В то же время обрат молока и картофельная мезга, несмотря на высокое содержание питательных веществ, не оказали высокого активирующего действия, что вероятно связано с тем, что они содержат большое количество влаги, из-за которой общая влажность смеси становится выше "критической" для микроорганизмов – продуцентов аминокислот (табл. 2), что

подтверждается микробиологическими исследованиями. Так, численность микроорганизмов в случае добавок обратного молока и картофельной мякоти значительно ниже, чем при добавлении хлебопекарных отходов, а в случае добавок картофельной мякоти оно ниже количества микроорганизмов при отсутствии добавок, т. е. добавки отходов крахмалопаточной промышленности оказывают ингибирующее действие.

Таблица 1
Выход аминокислот при аэробно-анаэробной биоконверсии смеси с добавками отходов пищевых производств

Вид добавки	Выход аминокислот, г/100 г асв	Продуктивность процесса, г/100 г асв/час
Без добавок*	2.51	0.04
Отходы хлебопекарной промышленности	4.17	0.06
Отходы молокоперерабатывающей промышленности	2.73	0.04
Отходы крахмалопаточного производства	2.25	0.03

*Для сравнения приведены данные без добавок отходов

Таблица 2
Влажность смеси при аэробно-анаэробной биоконверсии с различными добавками

Вид добавки	Влажность, %
Без добавок*	65–67
Отходы хлебопекарной промышленности	64–66
Отходы молокоперерабатывающей промышленности	77–79
Отходы крахмалопаточного производства	74–76

*для сравнения приведены данные без добавок отходов

Таким образом, наиболее эффективно зарекомендовавшими себя оказались отходы хлебопекарной промышленности, поэтому дальнейшие исследования проводились с варьированием количества этого вида добавок. Опыты по варьированию добавок отходов хлебопекарной промышленности проводились с целью определения оптимального состава исходного субстрата для активного роста микроорганизмов и соответственно, более полной переработки смеси и синтеза биологически активных метаболитов – аминокислот.

Количество внесенных отходов варьировали в пределах 3–12 % (масс.) от общей массы смеси. Экспериментальные данные по количеству синтезированных аминокислот и продуктивности представлены в табл. 3. Из табл. 3 видно, что максимальный выход

аминокислот наблюдался при добавлении 10 % (масс.) хлебопекарных отходов, соответственно максимальная продуктивность наблюдалась при этом же количестве добавки. Эти данные также хорошо согласуются с микробиологическими исследованиями: максимальная численность микроорганизмов – продуцентов аминокислот приходится на 10 % добавок причем также в этом опыте наблюдалось увеличение численности аммонификаторов и фосфатмобилизирующих микроорганизмов.

Таблица 3
Выход аминокислот при аэробно-анаэробной биоконверсии смеси при различных количествах добавок отходов хлебопекарного производства

Количество добавки	Выход аминокислот, г/100 г асв	Продуктивность по аминокислотам, г/100 г асв/час
без добавок*	2.51	0.04
3 %	2.82	0.04
5 %	4.17	0.06
8 %	5.42	0.08
10 %	7.48	0.12
12 %	7.28	0.11

*Для сравнения приведены данные без добавок отходов

Данные по динамике ферментативной активности субстрата и конечного продукта (каталазной, уреазной и дегидрогеназной) представлены на рис. 1–3 соответственно (для сравнения на рисунках также представлены изменения активности для аэробно-анаэробной и анаэробной биоконверсии без добавок при остальных равных условиях).

Как видно из рис. 1, при переходе от анаэробного к аэробно-анаэробному типу процесса происходит значительное увеличение каталазной активности (A_k), что подтверждает активизацию аэробной группы микроорганизмов и соответственно показывает активное потребление кислорода. В случае использования добавок хлебопекарных отходов увеличение каталазной активности связано, по-видимому, с увеличением численности микроорганизмов и возрастает пропорционально изменению их количества. Снижение каталазной активности ближе к концу процесса свидетельствует о завершении или замедлении синтетической активности, связанном с обеднением субстрата питательными веществами.

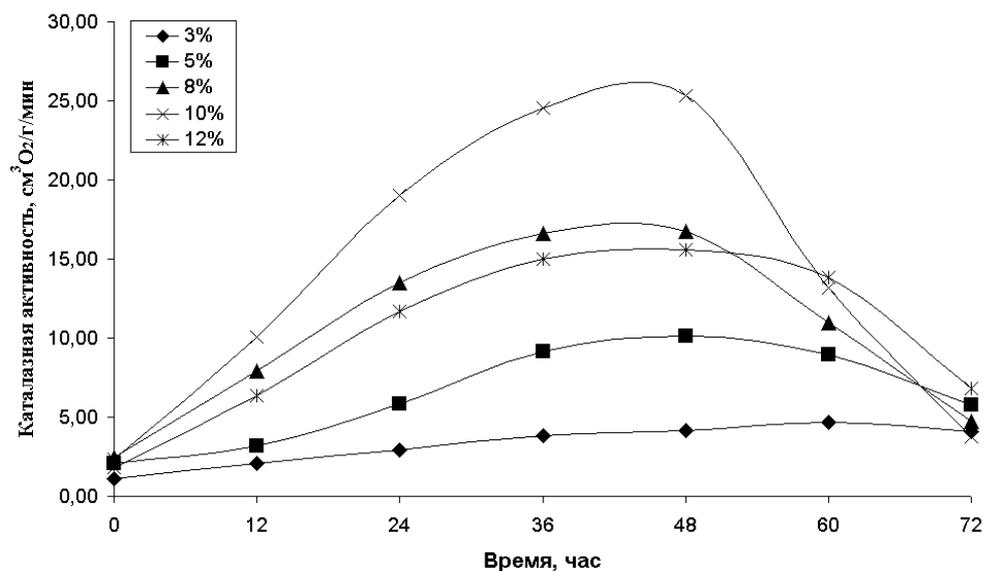


Рис. 1. Изменение каталазной активности (A_k) в ходе аэробно-анаэробной биоконверсии смеси с добавками отходов хлебопекарной промышленности

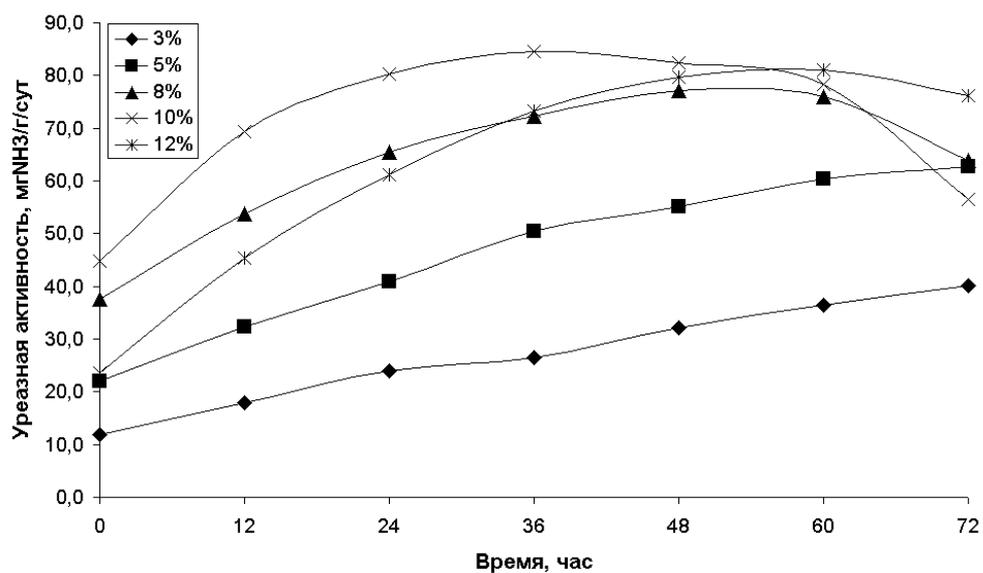


Рис. 2. Изменение уреазной активности (A_u) в ходе аэробно-анаэробной биоконверсии смеси с добавками отходов хлебопекарной промышленности

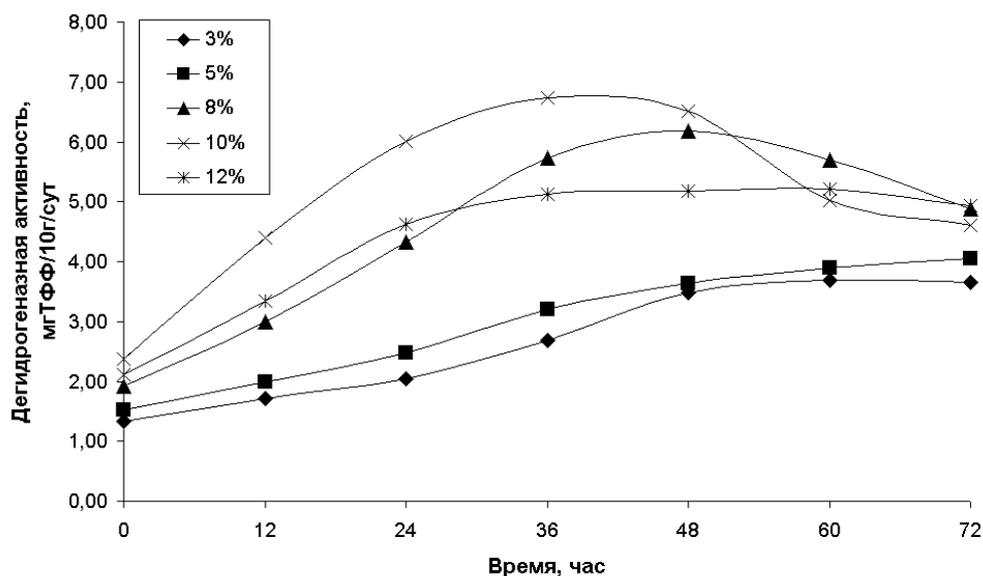


Рис. 3. Изменение дегидрогеназной активности (A_d) в ходе аэробно-анаэробной биоконверсии смеси с добавками отходов хлебопекарной промышленности

Увеличение уреазной активности (A_y) (рис. 2) свидетельствует об активной переработке органического азота, непосредственно входящего в состав молекул аминокислот – в аминогруппу. Большое значение имеет высокий показатель именно уреазной активности, так как в данном случае идет определение активизации азота, входящего в состав аммиака – вещества, близкого по строению к аминогруппе аминокислот. Причем известно, что многие продуценты незаменимых аминокислот обладают уреазной активностью.

Показатель дегидрогеназной активности (A_d) (рис. 3) также имеет огромное значение в биосинтезе и разложении органических веществ, являясь фактором, показывающим изменение энергетики процесса, так как отщепляемый дегидрогеназами водород полностью идет на рост микроорганизмов и биосинтез. Большинство дегидрогеназ относятся к оксидоредуктазам и ускоряют окислительно-восстановительные реакции. Из рис. 3 видно, что в независимости от аэрации и добавок отходов изменение дегидрогеназной активности носит куполообразный характер, увеличиваясь к 36–48 часам непрерывного биосинтеза и снижаясь к 60 часам, что свидетельствует о завершении синтеза, так как, участвуя в реакциях дыхательной цепи микроорганизмов, дегидрогеназы играют ключевую роль в переносе ионов H^+ с помощью кофермента НАД.

Таким образом, в результате проведения исследований получены данные о влиянии отходов пищевой промышленности на процесс

ферментации, на кинетику накопления биологически активных веществ, состав продуктов биокаталитической конверсии, синтез ферментов и показатели ферментативной активности. Полученные данные использованы для определения наиболее эффективных добавок и нахождения их оптимальных концентраций. Выполненные анализы конечного продукта биоконверсии подтверждают возможность его использования в качестве удобрения и премикса при разработке рационов для крупного рогатого скота и сельскохозяйственной птицы [7; 9]. Проведенные исследования позволили осуществить серию лабораторных испытаний процесса биоконверсии растительного сырья и органических отходов на базе Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-08-00256).

Список литературы

1. Lu Y.C., Kelly T.C. // *Food Rev. Int.* 2005. V. 11, № 2. P. 255–280.
2. Kishore G.M., Shewmaker C. // *Proc.Nat.Acad.Sci. USA.* 1999. V. 96, № 11. P. 5968–5972.
3. Фактор Г.Л. Система сбыта сельскохозяйственного сырья и продовольствия в капиталистических странах: Обзорная информация. // М.: ВНИИТЭИ агропром, 1998. 54 с.
4. Виестур У.Э., Шмите И.А., Жилевич А.В. Биотехнология. Рига: Зинатне, 1987. 246 с.
5. Karns J.S., Napeman C.J., Mulbry W.W., Ahrens E.H., Shelton D.R. // *Hortscience.* 1998. V. 33, № 4. P. 626–631.
6. Somba Z.C., Powell J.M. // *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 1998. V. 29, № 19–20. P. 2961–2979.
7. Эрнст Л.К. Перспективы использования в животноводстве кормовых продуктов из нетрадиционного сырья // *Нетрадиционные корма и добавки.* Л.: СЗНИИСХ, 1984. С. 3–8.
8. Пономарев А.Ф. Интенсификация кормопроизводства. М.: Росагропромиздат, 1988. 95 с.
9. Тюрина Ж.П., Альман А.В., Десятник А.А. Вторичное растительное сырье и способы улучшения его кормовых качеств. Кишинев: Штиинца, 1989. С. 1–15.

**STUDY AND OPTIMIZATION OF RESOURCE-SAVING
BIOCONVERSION METHODS OF PEAT-MANURE MIXTURES
AND WASTES OF FOOD INDUSTRY**

V.P. Molchanov, M.G. Sulman, E.I. Shimanskaya, Yu.Yu. Kosivtsov

Tver State Technical University, Tver

The article presents the results of experiments investigating the impact of the waste food industry in the process of bioconversion of organic raw materials, on the kinetics of accumulation of biologically active substances, the composition of the products of biocatalytic conversions, synthesis of enzymes and indicators of enzymatic activity.

Keywords: *bioconversion, food industry waste, agricultural waste, peat-manure mixtures, recycling of waste, resource-saving technologies, environmentally friendly technologies, organic fertilizers.*

Об авторах:

МОЛЧАНОВ Владимир Петрович – кандидат химических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и управления качеством Тверского государственного технического университета (ТвГТУ), e-mail: science@science.tver.ru

СУЛЬМАН Михаил Геннадьевич – доктор химических наук, профессор, заместитель проректора по научной работе ТвГТУ, e-mail: sulman@online.tver.ru

ШИМАНСКАЯ Елена Игоревна – кандидат химических наук, доцент кафедры биотехнологии и химии ТвГТУ, e-mail: shimanskaya-tstu@ya.ru

КОСИВЦОВ Юрий Юрьевич – доктор технических наук, профессор кафедры стандартизации, сертификации и управления качеством ТвГТУ, e-mail: kosivtsov@science.tver.ru

Поступила в редакцию 22 августа 2017 г.