

**КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО
НАЗНАЧЕНИЯ**

В.П. Молчанов, Ю.Ю. Косивцов, И.И. Карпенко, М.Г. Сульман

ФГБОУ ВО "Тверской государственный технический университет", Тверь, Россия

В рамках настоящей работы в Тверском государственном техническом университете были проведены исследования микробиологического состава ферментируемой смеси в процессе переработки органических отходов методом биоконверсии. Исследования включали определение общего количества микроорганизмов, численности их отдельных групп и выявление ферментативной активности процесса. При решении вопросов, связанных с интенсификацией промышленных процессов биоконверсии, методологически оправданным представляется условное разделение факторов на так называемые регулирующие и стимулирующие. Основные регулирующие факторы процесса переработки отходов и трудногидролизуемого растительного сырья разделяют на физические, химические и биологические факторы. Они влияют на развитие микроорганизмов, присущих исходному субстрату, и, таким образом, определяют ход процесса преобразования субстрата в требуемом направлении посредством ферментных систем развивающихся микроорганизмов.

Оптимизация регулирующих факторов требует решения целого ряда задач: изучение физико-химических, биохимических и микробиологических характеристик исходного сырья; изучение динамики процесса; приборное оснащение процесса; регуляция процесса ферментации с целью совершенствования конечного продукта. К стимулирующим факторам относятся те, которые существенно влияют на репродуктивную деятельность клеток микроорганизмов и во многих случаях нивелируют их активность. Было всесторонне изучено изменение вышеуказанных показателей при внесении в смесь солей калия. Применение в процессах ферментации калийных солей связано с необходимостью введения катиона калия в качестве источника питания для микроорганизмов, осуществляющих процессы биопереработки. Исследования показали, что соли калия (хлорид калия KCl и моногидрофосфат калия K_2HPO_4) достаточно благоприятно влияют на течение процессов микробной конверсии и формирование ферментативных продуктов. Особое внимание уделялось нахождению условий протекания процесса, оптимальных для развития микрофлоры, способствующей максимальному накоплению в смеси общих сахаров. Динамика численности микроорганизмов находится в зависимости от природы кислотного остатка, входящего в состав соли калия, ее концентрации и способа внесения в исходную смесь – в сухом виде или в растворе.

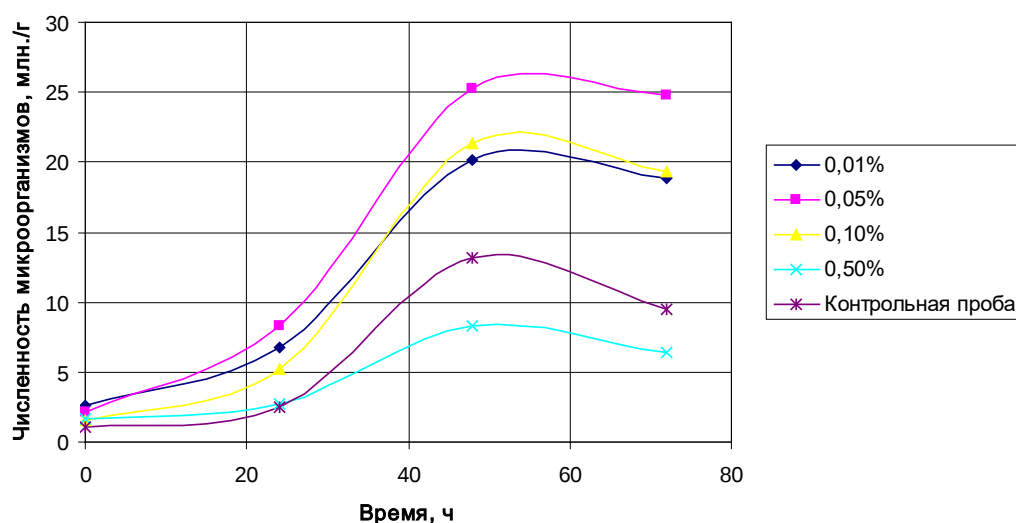
Результаты микробиологических экспериментов с применением в качестве стимулятора K_2HPO_4 представлены в таблицах 1 (для случая внесения в исходную смесь сухой соли) и 2 (для случая внесения соли в растворе). Результаты микробиологических экспериментов с применением в качестве стимулятора KCl представлены в таблицах 3 (для случая внесения в исходную смесь сухой соли) и 4 (для случая внесения соли в растворе).

Из полученных данных можно сделать однозначный вывод о том, что применение калийных солей целесообразно в процессах ферментации органического сырья, так как обеспечивает формирование продуктов, богатых физиологически активными веществами, полезными для растений, но требует корректировки концентрации. В целом проведенные исследования показали наибольшую физиологичность соли K_2HPO_4 по сравнению с солью KCl в формировании конечного продукта, обогащенного физиологически активными веществами. Возможно, что это связано с различным количеством атомов калия в этих солях, а возможно, с ингибирующим действием ионов хлора в хлористом калии. Значение калия фосфорнокислого подтверждалось результатами микробиологических и биохимических исследований, а также данными по накоплению, физиологически активных веществ – общих сахаров и витаминов группы В.

Добавление в исходную торфоновозную смесь 0,1 % калийной соли K_2HPO_4 , как в сухом виде, так и в растворе положительно повлияло на рост численности микроорганизмов различных групп (микроорганизмов, потребляющих сахара, микроорганизмов-продуцентов аминокислот и энтеробактерий). Важно отметить, что максимумы численности всех микроорганизмов обнаруживались одновременно через 48 ч инкубации. Использование раствора фосфорнокислой соли в объеме 0,05 % позволило получить сведения и о том, что максимумы ферментативной активности обнаруживались раньше, чем при ее внесении в сухом виде.

Таблица 1 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации K_2HPO_4 , вносимого в сухом виде

Концентрация KCl , вносимого в растворе, % (масс.)	Численность микроорганизмов, млн./г			
	Исходная проба	Через 24 ч	Через 48 ч	Через 72 ч
0,01	2,6	6,8	20,1	18,9
0,05	2,1	8,3	24,3	24,8
0,10	1,5	5,2	18,3	16,3
0,50	1,7	2,7	8,3	6,4
Контрольная проба	1,1	2,5	13,2	9,4

Рисунок 1 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации K_2HPO_4 , вносимого в сухом видеТаблица 2 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации K_2HPO_4 , вносимого в виде раствора

Концентрация KCl , вносимого в растворе, % (масс.)	Численность микроорганизмов, млн./г			
	Исходная проба	Через 24 ч	Через 48 ч	Через 72 ч
0,01	2,7	10,2	20,8	19,5
0,05	2,2	12,5	27,4	25,9
0,10	1,7	9,7	19,3	17,2
0,50	1,8	2,8	8,6	6,7
Контрольная проба	1,2	2,5	13,2	9,5

Необходимо отметить, что при внесении солей калия в растворе, как в случае с применением K_2HPO_4 , так и в случае с применением KCl , индукционная фаза менее выражена, нежели чем при внесении этих солей в растворе. Это может быть связано с увеличением скорости процессов массопереноса в системе ферментируемой органической массы.

Итак, проведенные исследования показали, что соль K_2HPO_4 , используемая в растворенном состоянии, как в случае внесения ее в исходную смесь в количестве 0,1 %, так и в количестве 0,05 %, способствует более интенсивному развитию микроорганизмов различных групп и активизирует их ферментативные комплексы.

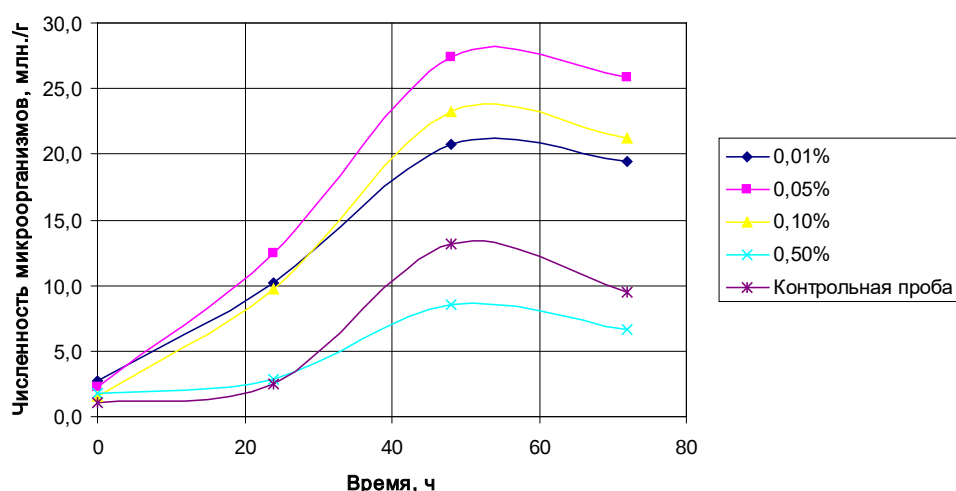


Рисунок 2 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации $K_2 HPO_4$, вносимого в виде раствора

Таблица 3 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации KCl, вносимого в сухом виде

Концентрация KCl, вносимого в растворе, % (масс.)	Численность микроорганизмов, млн./г			
	Исходная проба	Через 24 ч	Через 48 ч	Через 72 ч
0,01	2,6	6,8	20,1	18,9
0,05	2,1	8,3	24,3	24,8
0,10	1,5	5,2	18,3	16,3
0,50	1,7	2,7	8,3	6,4
Контрольная проба	1,1	2,5	13,2	9,5

Рассматривая влияние различных концентраций $K_2 HPO_4$ (0,01 %, 0,05 %, 0,1 % и 0,5 %) на процесс твердофазной ферментации, следует отметить, что наиболее предпочтительным является использование этой соли в объеме 0,05 %, так как она активизирует деятельность большинства микроорганизмов, обеспечивая, их максимальную активность на 48 ч раньше других случаев. Подтверждением этому служило образование общих сахаров и биохимические исследования в процессе ферментации.

Зависимость максимальной численности микроорганизмов, развивающихся в процессе ферментации, от концентрации и способа внесения солей калия проиллюстрирована на рисунке 5.

Из графика видно, что наибольшая численность микроорганизмов, развивающихся в процессе ферментации, достигается при внесении в торфонавозную смесь $K_2 HPO_4$ в количестве 0,05 % (масс.) в виде раствора. В случае применения хлорида калия наибольшая численность микроорганизмов заметно ниже. Также необходимо отметить, что максимальная численность микроорганизмов во всех случаях достигается при одной концентрации, равной 0,05 %. Однако снижение максимальной численности микроорганизмов, развивающихся в процессе ферментации, при внесении KCl, как в сухом, так и в растворенном виде, происходит быстрее с увеличением концентрации выше 0,05 %. Это позволяет сделать вывод о том, что хлорид-анион оказывает ингибирующее действие на развитие популяции микроорганизмов в процессе ферментации.

Применение калийных солей целесообразно в процессах ферментации органического сырья, так как обеспечивает максимальное увеличение численности микроорганизмов и обуславливает формирование продуктов, обогащенных физиологически активными веществами, полезными для растений, но требует корректировки концентрации. Наилучшим вариантом, направленным на накопление наибольшего количества физиологически активных веществ, представляется вариант с внесением в исходную смесь калийной соли $K_2 HPO_4$ в объеме 0,05 % от общей массы.

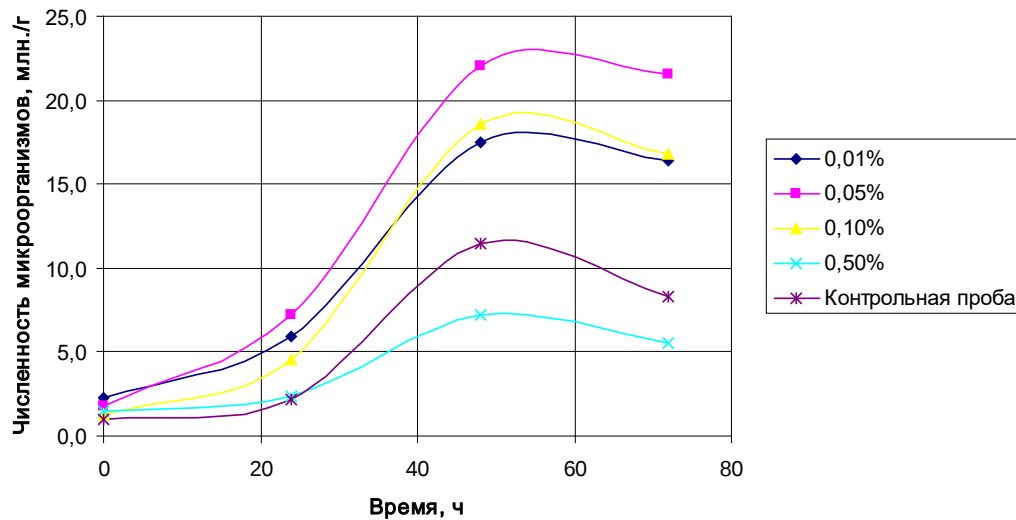


Рисунок 3 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации KCl, вносимого в сухом виде

Таблица 4 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации KCl, вносимого в виде раствора

Концентрация KCl, вносимого в растворе, % (масс.)	Численность микроорганизмов, млн./г			
	Исход. проба	Через 24 ч	Через 48 ч	Через 72 ч
0,01	2,7	10,2	20,8	19,5
0,05	2,2	12,5	27,4	25,9
0,10	1,6	9,7	19,3	17,2
0,50	1,8	2,8	8,5	6,6
Контрольная проба	1,1	2,5	13,2	9,5

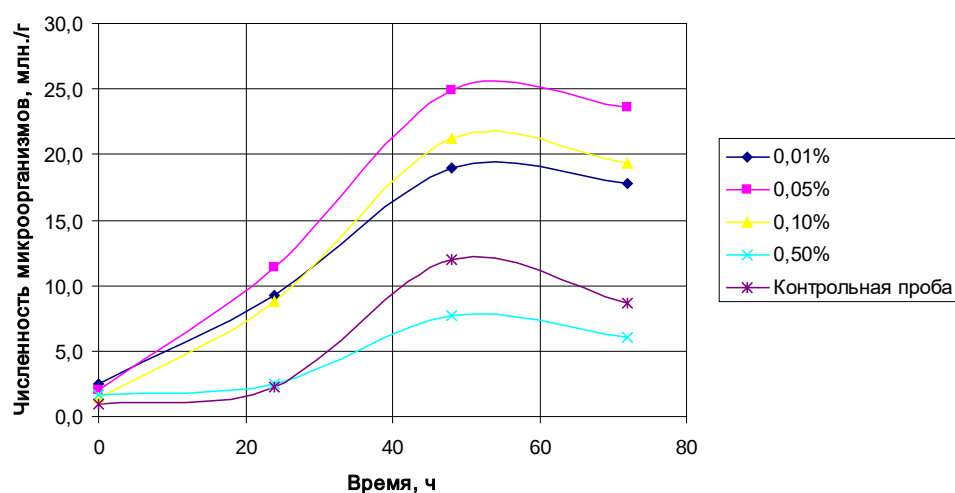


Рисунок 4 – Кинетика развития микроорганизмов в зависимости от концентрации KCl, вносимого в виде раствора

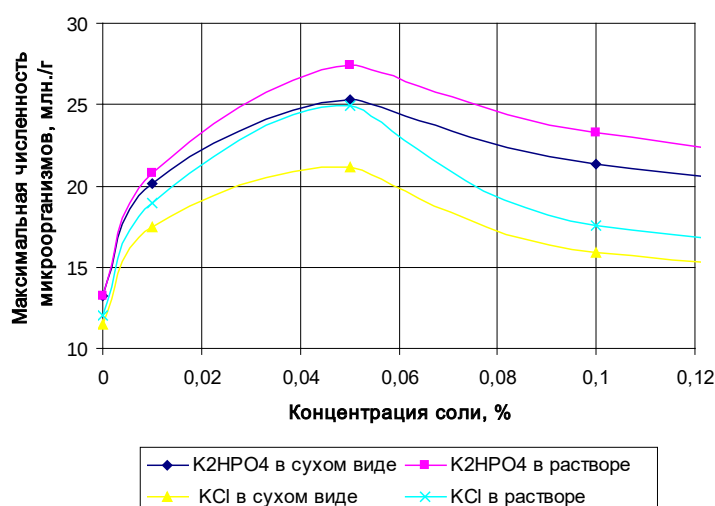


Рисунок 5 – Зависимость максимальной численности микроорганизмов от концентрации и способа внесения солей калия

Таким образом, применение калийных солей в процессе биоконверсии повышает биологическую ценность продуктов переработки органических отходов при их последующем использовании в качестве удобрений. Практическая реализация указанного процесса позволит получать высокоэффективную продукцию сельскохозяйственного назначения, а сочетание таких преимуществ как использование дешевого, доступного и конкурентоспособного органического сырья, а также интенсивных биотехнологических методов его переработки обуславливает экономическую эффективность внедрения процесса за счет существенного сокращения производственных затрат.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 20–69–47084).

Литература

- Ерина Т.Э. и др. 2006. Биотехнология ускоренной аэробной переработки навоза и ее аппаратное оформление / отв. ред. А.И. Еськов // Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ. С. 298–301.
- Ковалев А.А. и др. 2006. Получение биогаза и перспективы снижения расхода воды в системах утилизации навозных стоков на полях орошения / отв. ред. А.И. Еськов // Агроэкологические проблемы использования органических удобрений на основе отходов промышленного животноводства: сб. докл. Междунар. науч.-практич. конф. М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ. С. 91–96.
- Ковалев А.А. и др. 2002. Анаэробная обработка жидкого навоза в технологиях приготовления органических удобрений / отв. ред. А.И. Еськов // Использование органических удобрений и биоресурсов в современном земледелии: материалы Междунар. научно-практ. конф., посвященной 20-летию ВНИПТИОУ. М.: РАСХН – ВНИПТИОУ. С. 168–173.
- Ковалев Н.Г., Барановский И.Н. 2006. Органические удобрения в XXI веке (Биоконверсия органического сырья): Монография. Тверь: ЧуДо. 304 с.
- Ковалев Н.Г., и др.. 1997. Способ приготовления компоста многоцелевого назначения. Патент РФ № 2112764.
- Могилевцев В.И. и др. 2012. Утилизация навоза / помета на животноводческих фермах для обеспечения экологической безопасности территории, наземных и подземных водных объектов в Ленинградской области. / под ред. В.И. Могилевцева. СПб.: СЗНИИМЭСХ Россельхозакадемии. 237 с.
- Молчанов В.П., Сульман М.Г., Сульман Э.М. 2015. Ресурсосберегающая биокаталитическая конверсия смесей органических отходов животного и растительного происхождения // Актуальная биотехнология. № 3(14). С. 68–69.
- Рабинович Г.Ю., Ковалев Н.Г., Фомичева Н.В. 2007. Новый вид биологически активных средств: получение, состав, перспективы использования // Вестник российской сельскохозяйственной науки. № 3. С. 71–73.