

БИОТЕХНОЛОГИЯ, БИМЕДИЦИНСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

УДК 579.66

*А. А. Козеняшева**

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЭТАНОЛА

Для получения биотоплива современные технологии предлагают использовать возобновляемое сырье, в большинстве случаев которое представляет собой промышленные или сельскохозяйственные отходы. Одним из производимых в значительных количествах в настоящее время видов биотоплива является биоэтанол. Введение этой составляющей в состав смесей с бензином, соляркой позволяет повысить качество топлива в 2,5 – 3 раза и уменьшить выброс вредных веществ до 70% [1]. Также биоэтанол используется как сырье на предприятиях химической и фармацевтической промышленности. В соответствии с директивой ЕС 2018/2001 [2] общая доля энергии из возобновляемых источников должна составлять 32% к 2030 году. В промышленных масштабах для производства биоэтанола используют целлюлозосодержащие отходы переработки сельскохозяйственных культур или крахмалсодержащее зерновое сырье. Так в США для суточного производства биоэтанола объемом более 14 млн дал в основном используют кукурузу и сорго, а в Бразилии для выработки 8,4 тыс. дал в сутки перерабатывают сахарный тростник и кукурузу. В странах ЕС по большей части используются такие культуры, как кукуруза, пшеница и сорго.

На территории России большую часть биоэтанола производят ЗАО «Нефтехимия», ООО «Кировский биохимический завод», ЗАО НПО «Химсинтез». В связи с тем, что для производства биоэтанола использовать сельскохозяйственные культуры, что экономически не выгодно, в настоящее время производство переходит на непродовольственные культуры и лигноцеллюлозную биомассу. Также в Кур-

* Работа выполнена под руководством кандидата технических наук, доцента ФГБОУ ВО «ТГТУ» О. В. Зюзиной.

чатовском институте проводятся исследования возможной переработки биомассы микроорганизмов в биотопливо, а работы российских ученых Г. Ф. Мироновой, Е. А. Скиба и др. посвящены получению биоэтанола из целлюлозосодержащего сырья.

Рассматривается возможность использовать в качестве сырья побочный продукт свеклосахарного производства – прессованный свекловичный жом. Данный вид отхода имеет углеводную основу и позволяет использовать его в качестве корма для крупного рогатого скота. Также химические вещества массы свекловичного жома рассматриваются как экономически выгодные компоненты для переработки его в востребованные продукты, например, в пектин, биоэтанол. В таблице 1 приведены химические соединения свекловичного жома и среднее их содержание [3].

Предварительная обработка свекловичного жома является первым и важнейшим этапом перевода полимерных соединений в доступную для микроорганизмов форму при производстве биоэтанола. Известны и рекомендуются для этой цели три группы воздействий – биологическое, химическое и физико-химическое. В таблице 2 представлен состав углеводной смеси после разрушения клеточной стенки биомассы свекловичного жома при ферментативном гидролизе с использованием комплекса препаратов Вискозима, Ультрафло Макс (Новозим) и кислотном гидролизе в среде 2 %-ной серной кислоты [3].

1. Химические соединения свекловичного жома

Вещество	Содержание, %	Сахара
Целлюлоза	22...30%	Глюкоза
Гемицеллюлоза	24...32%	D – фруктоза
		D – ксилоза
		D – манноза
		D – арабиноза
		D – глюкоза
		D – галактоза
Пектин	38...62%	Галактуроновая кислота
Лигнин	1...2%	–

2. Состав гидролизатов жома сахарной свеклы

Сахара	Концентрация углеводов (г/л) после ферментативного гидролиза			Концентрация угле- водов (г/л) после кислотного гидролиза	
	4 ч	10 ч	16 ч	130 °С	140 °С
Глюкоза	18,61 ± 0,70	21,79 ± 0,54	29,74 ± 1,19	2,46 ± 0,08	2,56 ± 0,10
Фруктоза	4,52 ± 0,40	8,90 ± 0,29	12,46 ± 0,60	2,52 ± 0,30	0,95 ± 0,15
Манноза	3,04 ± 0,14	5,97 ± 0,17	7,04 ± 0,45	1,67 ± 0,12	1,29 ± 0,10
Арабиноза	1,54 ± 0,50	2,60 ± 0,87	3,47 ± 0,82	10,81 ± 0,58	13,06 ±0,62
Галактоза	2,27 ± 0,90	3,90 ± 0,39	5,18 ± 0,31	9,39 ± 0,50	13,15 ±0,65
Рамноза	0,88 ± 0,59	1,75 ± 0,08	2,26 ± 0,30	4,62 ± 0,42	4,43 ± 0,45
Ксилоза	0,39 ± 0,053	0,48 ± 0,038	0,47 ± 0,049	1,12 ± 0,08	1,81 ± 0,07
Галактуроновая кислота	3,66 ± 0,24	5,51 ± 0,44	7,81 ± 0,19	0,48 ± 0,12	2,48 ± 0,32

Как видно из приведенных в табл. 2 данных при ферментативном гидролизе наблюдается наибольший выход простых сахаров, кроме того ферменты в составе препаратов инактивируются и не загрязняют получаемую смесь из-за малых расходов для реализации процесса, не вызывают образование токсичных веществ, влияющих на дальнейшие биохимические процессы с участием дрожжевых организмов. Тогда как кислотный гидролиз сопровождается накоплением соединений, ингибирующих деятельность микроорганизмов, и возникает необходимость дополнительной обработки гидролизата.

На этапе получения биоэтанола брожением простых сахаров принимают участие микроорганизмы *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida shehatae*, *Pichia stipitis* и др. В статье [4] авторы приводят данные об успешном преобразовании биомассы в биоэтанол с помощью смешанной культуры нескольких генетически модифицированных этанологенных бактерий, таких как *Escherichia coli KO11*, *Klebsiella oxytoca*

P2 и *Erwinia chrysanthemi EC16*. Штаммы микроорганизмов подбирались, исходя из условий пребывания в бродильном аппарате и их способности к сбраживанию гексоз и пентоз простых сахаров. При использовании в качестве питательной среды гидролизата, полученного с использованием ферментных препаратов Вискозим, Ультрафло Макс, отмечаются высокие концентрации низших сахаридов, которые могут подвергать клетки микроорганизмов осмотическому стрессу, а также вызывать ингибирование субстратом [4].

По результатам проведенного анализа доступных информационных источников для исследовательского проекта по теме, актуальной для кирсановского предприятия ООО «Кристалл», имеющего значительные объемы свекловичного жома, выбрана технология переработки его с получением биоэтанола. Предусматривается серия экспериментальных работ, направленных на подбор доступных высокоактивных ферментных препаратов для ведения биохимической обработки сырья – свекловичного жома, включающей гидролиз полисахаридов и делигнификацию, достигая высокого выхода простых сахаров. Важным этапом проектной работы является поиск биологических агентов для сбраживания гексоз и пентоз на и установление технологических параметров температуры и давления для метаболической активности микроорганизмов в анаэробных условиях.

Список литературы

1. Martins, F., Felgueiras, C. Analysis of Fossil Fuel Energy Consumption and Environmental Impact in European Countries. *Energies* 2019, 12, 964.
2. Директива (ЕС) 2018/2001 Европейского парламента и Совета, Официальный журнал Европейского Союза. 2018.
3. Tomaszewska, J., Bieliński D. Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. – 2018. – V. 8. – P. 3161 – 3177.
4. Bertowska, J., Pielech-Przybyiska, K. Simultaneous saccharification and fermentation of sugar beet pulp for efficient bioethanol production, *BioMed Research International*. – 2016. – P. 10.

Кафедра «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» ФГБОУ ВО «ТГТУ»