поэтому все виды физических обработок применяли в начале отверждения, то есть по существу использовали физическую модификацию исходных смесей. Используемые виды модификации можно называть физической модификацией условно, так как все физические обработки влияют на протекание химических процессов при отверждении.

Главными химическими процессами при отверждении являются одновременно протекающие и конкурирующие процессы линейного роста и ветвления полимерных цепей. Основная цепь линейных полимеров содержит лишь вторичные атомы. Третичные атомы появляются при ветвлении полимерных цепей. Химические связи при вторичных атомах более прочны, чем при третичных атомах, следовательно, процесс линейного роста более экзотермичен, чем процесс ветвления. Энергии активации рассматриваемых процессов пропорциональны абсолютной величине их тепловых эффектов, поэтому процесс линейного роста требует несколько большей энергии активации и более чувствителен к энергетической подпитке, чем процесс ветвления. Значит, при отверждении на свету происходит некоторое подавление образования сетчатой структуры, что сопровождается замедлением поляризации и снижением поверхностной плотности зарядов (табл. 3).

Таблица 3

Влияние модификации белым светом на поверхностную плотность заряда различных электретов (над чертой – отверждение в темноте, под чертой – отверждение на свету)

<i>Состав полимерного электрета</i>	<i>Поверхностная плотность заряда, Кл/м²</i>
<i>ЭД-20 на полимерной подложке №1</i>	<i>-19±10/-8±6</i>
<i>ЭД-20 на полимерной подложке №2</i>	<i>1±1/-1±8</i>
<i>ЭД-20 на металлической подложке</i>	<i>26±6/20±5</i>

1. Студенцов В.Н. Разработка технологии полимерного электрета для микрофонов на основе реактопласта / В.Н. Студенцов, В.В. Марценюк // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. – 2016. – Серия 1. – № 3. – С. 103-108;
2. Воронежцев Ю.И. Электрические и магнитные поля в технологии полимерных композитов / Ю.И. Воронежцев, В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук, В.В. Снежков // Под редакцией А.И. Свириденко. – Минск: Наука и техника, 1990. – 263 с.;
3. Студенцов В.Н. Кинетика отверждения и структура волокнаполненных композиционных материалов // Композиционные полимерные материалы. – 1988. – Т. 37. – С. 32-38.

Ожимкова Е.В., Орлов В.В.

Перспективы биоконверсии предварительно обработанной ультразвуком линглоцеллюлозной биомассы в биоэтанол

*ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»
(Россия, Тверь)*

doi: 10.18411/trnio-10-2021-55

Аннотация

В статье рассмотрены основы ресурсосберегающей технологии переработки семян различных бобовых культур с последовательным получением биологически активных веществ (белков и крахмалов) и последующей биоконверсией линглоцеллюлозной биомассы в биоэтанол. Низкочастотный ультразвук использован как для интенсификации экстракции целевых компонентов, так и для одновременной предобработки растительного сырья для получения биотоплива.

Ключевые слова: ресурсосбережение, комплексная переработка, бобовые, ультразвук, биоконверсия, биотопливо.

Abstract

The article discusses the basics of a resource-saving technology for processing seeds of various legumes with the sequential production of biologically active substances (proteins and

starches) and subsequent bioconversion of lignocellulose biomass into bioethanol. Low-frequency ultrasound is used both for intensifying the extraction of target components and for simultaneous pretreatment of plant raw materials to obtain biofuel.

Keywords: resource saving, complex processing, legumes, ultrasound, bioconversion, biofuel.

В последние годы все более актуальной задачей становится разработка и внедрение современных эффективных ресурсосберегающих технологий переработки растительного сырья в востребованные продукты, в том числе, биотоплива. Процесс предварительной обработки растительных материалов является ключевым технологическим этапом биоконверсии лигноцеллюлозы в биотопливо. На сегодняшний день наиболее распространенными методами предобработки лигноцеллюлозного сырья для производства этанола является измельчение, обработка паром, разрушение лигноцеллюлозы аммиаком, обработка сырья с применением сверхкритического углекислого газа, щелочной гидролиз, предварительная обработка горячей водой, органосольвентные процессы, влажное окисление, озонлиз, гидролиз разбавленными и концентрированными кислотами [1]. Основными недостатками указанных методов предварительной обработки являются большой расход энергоресурсов, дорогостоящих и довольно агрессивных реагентов, что в свою очередь приводит к формированию в реакционной среде различных типов ингибиторов, таких как карбоновые кислоты, фураны и фенольные соединения. Эти вещества подавляют рост микроорганизмов, результатом чего может стать снижение выхода биоэтанола [1-4].

Применение ультразвука для предварительной обработки лигноцеллюлозных субстратов в гетерогенной среде приводит к увеличению их реакционной способности при биоконверсии в сахара [2-3].

Биоконверсия лигноцеллюлозной биомассы в биоэтанол является одной из приоритетной областью современных научных исследований. Лигноцеллюлозный этанол производится из недорогого и широкодоступного сырья, которое может снизить зависимость от ископаемого топлива. Использование биоэтанола в качестве топлива способствует снижению загрязнений окружающей среды, поскольку выбросы CO₂ при сжигании биоэтанола равны объему CO₂, которое растения поглощают из атмосферы во время фотосинтеза. Этанол в качестве биотоплива позволяет снизить в бензине содержание ароматических углеводородов, повысить октановое число. Кроме того, развитие биотопливной промышленности в мире становится экономически выгодным при растущих мировых ценах на углеводородное сырье [3].

Основные варианты применения биоэтанола в качестве топлива:

- как добавка к бензину от 5 до 15% для использования в обыкновенных бензиновых двигателях;
- в виде смесей с содержанием этанола до 85% для использования в автомобилях с двигателями с универсальным потреблением топлива;
- для синтеза этилтретбутилового эфира - высокооктанового компонента бензина [5-6].

По мнению ряда ученых [2-7], среди всех видов биотоплив наибольший потенциал имеет биоэтанол. Перспективность использования его как экологически чистого топлива, а также как сырья для химической промышленности, способствовала резкому увеличению в ряде стран финансовых затрат на соответствующие программы. Уже более половины этанола, производимого в мире, используется в качестве добавки к топливу (бензину) для двигателей внутреннего сгорания и лишь около 15% - для производства спиртных напитков. В настоящее время производство биоэтанола является наиболее динамично развивающимся сектором биотопливной отрасли.

Согласно оценкам экспертов, к 2030 году выпуск биотоплива в мире составит 150 млн т при ежегодном приросте производства 7-9%. При этом преимущество будет иметь

биоэтанол, т.к. себестоимость его производства снижается быстрее, чем себестоимость производства биодизеля [4,6-7].

Биотопливо второго поколения может производиться из отходов, образующихся в результате заготовки и переработки сельскохозяйственных растений, лесозаготовки и т.д.. Для производства целлюлозного этанола, который является одним из наиболее многообещающих источников «чистой и дешевой энергии», возможно, в принципе, использовать самое разнообразное сырье (например, жмыхи, солому, шелуху и т.д.), что в свою очередь позволяет избежать дилеммы «топливо против пищи», которая являлась серьезной проблемой при производстве биоэтанола первого поколения из пищевого сырья.

Еще одним важным аспектом производства биоэтанола является выбор штамма-продуцента. Представители микроорганизмов с целлюлолитической активностью, способные трансформировать растительную биомассу в этанол напрямую без предварительной обработки, известны, тем не менее, несмотря на большие успехи специалистов разных стран, из-за трудностей культивирования строгих анаэробов и низкого выхода целевого продукта достаточно эффективной технологии, позволяющей преодолевать устойчивость целлюлозосодержащих субстратов к биоразложению, пока не создано. Низкая продуктивность процесса прямого ферментативного гидролиза целлюлозы автоматически ведет к резкому увеличению рабочего объема гидролизопаратов для достижения экономически оправданного масштаба производства, а, следовательно, к неприемлемым капитальным затратам [8-9].

В предоставленной работе в качестве растительного материала для проведения исследований использовались образцы коммерческих марок зеленого и желтого гороха, белой и красной фасоли, красные бобы и зеленая чечевица. Методики выделения крахмала из семян представлена в патенте РФ 2665080 [10]. Полученные результаты подтверждают эффективность однократной ультразвуковой экстракции крахмалов из семян бобовых культур (крайне низкий выход крахмалов при повторной ультразвуковой экстракции), предложенной на первом этапе выполнения проекта. Однако, при проведении поисковых экспериментов по получению биоэтанола из отработанной биомассы бобовых, более высокая скорость накопления в среде редуцирующих веществ отмечена у образцов шрота, полученного после повторной ультразвуковой экстракции. Вероятно, это связано с более существенными изменениями в структуре лигноцеллюлозного материала при увеличении времени ультразвуковой обработки растительного сырья.

Для проведения экспериментальной части работы также были использованы дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, характеризующиеся хорошей приспособленностью физиологически к культивированию в условиях биореактора и являющиеся абсолютно безопасными (штамм винных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* «SP-1» и штамм пивоваренных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* «SafAle™ S-33»). Концентрацию субстрата варьировали в концентрациях 10, 30, 50 и 80 г/л.

Были проведены эксперименты по получению биоэтанола, в которых использовалось дополнительное осахаривание (нагрев и выдерживание реакционной среды) лигноцеллюлозного сырья и эксперименты без указанной стадии.

При получении биоэтанола с дополнительной стадией осахаривания можно отметить, что через 4 ч осахаривания (для шрота зеленого гороха) и через 6 ч (для шрота желтого гороха) происходит увеличение концентрации редуцирующих веществ, а затем до происходит их накопление в среде до 18 (для шрота зеленого гороха) и 20 ч (для шрота желтого гороха). Максимальная концентрация редуцирующих веществ была отмечена в экспериментах со шротом зеленого гороха в среде с исходной концентрацией субстрата 80 г/л. При выполнении экспериментов с использованием стадии осахаривания удалось получить бражку с содержанием этанола $1,8 \pm 0,05$ об %.

При получении биоэтанола без дополнительной стадией осахаривания удалось получить бражку с содержанием этанола $1,4 \pm 0,05$ об %. при использовании в качестве

субстрата шрота зеленого гороха, полученного после повторной ультразвуковой экстракции и при исходной концентрации субстрата 50 г/л.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-08-00336.

1. Pan X., Zhu J. An update on sulfite pretreatment of lignocellulosic biomass for effective production of cellulose ethanol // Proceeding of the 16 ISWFPC. Tianjin (2011) pp. 968-972.
2. А.П. Карманов, В.В. Володин, Л.С. Кочева, А.В. Рудковский, С.А. Кузнецова. Влияние ультразвуковой кавитации на реакционную способность лигноцеллюлозных субстратов при биоконверсии растительной биомассы // Бутлеровские сообщения – Том 39, №9 (2014), с.52-57.
3. T.Su, D. Zhao, M. Khodadadi, C. Len Lignocellulosic biomass for bioethanol: Recent advances, technology trends, and barriers to industrial development. Review article // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry - Volume 24 (2020), pp. 56-60.
4. S. Soltaniana, M. Aghbashlo, F. Almasi, H. Hosseinzadeh-Bandbafha, A. Nizami, Y. Sik, O. Su A critical review of the effects of pretreatment methods on the exergetic aspects of lignocellulosic biofuels // Energy Conversion and Management - Volume 212, 15 (2020), 112792.
5. Y. Tang, M. An, K. Liu, S. Nagai, T. Shigematsu, S. Morimura, K. Kida. Ethanol production from acid hydrolysate of wood biomass using the flocculating yeast *Saccharomyces cerevisiae* strain KF-7 // Process Biochemistry.-V. 41, Issue 4 (2006)- pp.909-914.
6. Л.В. Римарева Биологические аспекты переработки растительного сырья на топливный биоэтанол // Производство спирта и ликероводочных изделий. - № 3. (2007)- С. 4-10.
7. A.Arevalo-Gallegosa, Z. Ahmad, M. Asgher, R. Parra-Saldivar, M.N.Iqbala Lignocellulose: A sustainable material to produce value-added products with a zero waste approach. A review // International Journal of Biological Macromolecules – Vol. 99, (2017), pp. 308-318.
8. D.Q. Zheng, X.Ch. Wu, X.L. Tao, P.M. Wang, P. Li, X.Q. Chi, Y.D. Li, Q.F. Yan, Y.H Zhao. Screening and construction of *Saccharomyces cerevisiae* strains with improved multi-tolerance and bio-ethanol fermentation performance // Bioresource Technology. - V. 102, Issue 3. (2011) - pp.3020-3027.
9. B. Wang, X.M. Ge, N. Li, F.W. Bai Continuous ethanol fermentation coupled with recycling of yeast flocs // Chinese Journal of Biotechnology. - V. 22, Issue 5 (2006).- pp.816-821.
10. Патент РФ № 2665080. Способ получения крахмала из растительного сырья/ М.Г. Сульман, Е.В. Ожимкова, Э.М. Сульман.

Суфиянов Р.Ш.

Аммиак как источник водорода

*Бронницкий филиал ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
(Россия, Бронницы)*

doi: 10.18411/trnio-10-2021-56

Аннотация

Применение водорода как топлива вызывает определенные трудности, связанные, в частности, с его транспортированием и хранением. Эти проблемы могут быть решены, если в качестве источника водорода использовать аммиак.

Ключевые слова: Водород, аммиак, транспортирование, хранение, использование, расщепление, катализатор.

Abstract

The use of hydrogen as a fuel causes certain difficulties associated, in particular, with its transportation and storage. These problems can be solved by using ammonia as a hydrogen source.

Keywords: Hydrogen, ammonia, transportation, storage, use, splitting, catalyst.

Одной из важнейших задач общественности во всем мире является решение проблемы глобального (потепления) изменения климата на Земле. ООН предусматривает