

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ЭТИЛОВОГО СПИРТА ПРИ СБРАЖИВАНИИ СУСЛА

В настоящее время этиловый спирт широко применяется в различных отраслях промышленности, в том числе в качестве топлива для автотранспорта. Получение биоэтанола из крахмал- и сахаросодержащего сырья ограничено использованием этих видов сырья в пищевых целях. Производство гидролизного этилового спирта из лигноцеллюлозной биомассы кислотным гидролизом растительного сырья в настоящее время в РБ приостановлено в связи с высокой энергоемкостью процесса и высокой себестоимостью спирта.

В промышленности используется в основном традиционный способ получения этилового спирта: получение гидролизата кислотной или ферментативной обработкой крахмал-, сахаро- и целлюлозосодержащего сырья; гидролизат, содержащий раствор моносахаридов, после соответствующей подготовки подвергается глубинной ферментации в анаэробных условиях различными спиртообразующими культурами дрожжей (преимущественно рода *Saccharomyces* и *Schizosaccharomyces*) с последующим выделением этанола и его очисткой с помощью ректификации [1].

Стадия сбраживания в процессе производства спирта по классической технологии является наиболее продолжительной, поскольку ферментация длится до 65 ч. Концентрация спирта в бражке при этом составляет 1–10% в зависимости от исходного сырья. В настоящее время повышение эффективности процесса сбраживания является актуальной задачей.

Качество бражки определяется такими основными показателями, как концентрация спирта, доля остаточных сбраживаемых моносахаридов, состав и содержание побочных продуктов.

Максимальная концентрация спирта в бражке при проведении процесса в оптимальных условиях лимитируется в основном фактором ингибирования дрожжевой активности конечными продуктами брожения, в т. ч. этиловым спиртом. В настоящее время активно проводятся исследования по увеличению максимальной концентрации спирта в бражке.

Для повышения эффективности предлагаются различные способы усовершенствования процесса сбраживания субстратов в этанол:

модернизация технологического оборудования и процессов, замена дрожжевых культур, введение активаторов брожения и т.д.

Активно исследуется повышение эффективности процесса путем иммобилизации дрожжевых клеток различными способами (рисунок 1).



Рисунок 1 - Способы иммобилизации дрожжевых клеток

Одним из перспективных направлений исследований по повышению выхода этанола является использование различных культур микроорганизмов, ассимилирующих пентозы (*Candida shehatae*, *Candida tropicalis*, *Pachysolen tantrophilus* и т.д.), что связано с высоким содержанием пентозанов в гидролизатах, полученных из растительного сырья. В таблице приведены данные об остаточном содержании пентозанов и пентоз в бражках, полученных из наиболее распространенных видов сырья [2].

Таблица – Среднее содержание пентоз и пентозанов в бражках, полученных из различных культур зерна и картофеля

Культура	Массовая концентрация пентоз и пентозанов, г/100 см ³
Картофель	0,2
Просо	0,3
Рожь	0,7
Кукуруза	0,3
Пшеница	0,4
Свекла сахарная	0,2–0,3
Меласса	0,11
Ячмень	0,6
Овес	0,7

Видно, что содержание остаточных пентоз в полученной бражке является значительным и их переработка позволяет значительно повысить выход спирта.

Перспективным направлением является переработка крахмалсодержащего и лигноцеллюлозного сырья в этанол прямой биоконверсией субстрата без предварительной гидролитической или микробиологической обработки с использованием бактерий, расщепляющих полисахариды и сбраживающих полученные олиго- и моносахариды в одном процессе (например, бактериями *Clostridium thermocellum*). Однако промышленное использование в качестве продуцентов этанола термофильных анаэробных бактерий, является их низкая устойчивость к этанолу [3].

Одним из способов увеличения выхода этанола является сбраживание под вакуумом, организация которого позволяет проводить одновременную отгонку спирта и других летучих веществ, тем самым удаляя из реакционной среды конечные продукты реакции и смещая равновесие в их сторону.

Эффективность процесса конверсии целлюлозы и гемицеллюлоз растительной биомассы в этанол значительно повышается при использовании ассоциаций микроорганизмов, например, *Clostridium thermocellum* и *Clostridium thermohydrosulfuricum* [4], или ее одновременном «осахаривании» и ферментации при применении комплексных ферментных препаратов [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология спирта / В. Л. Яровенко [и др.]; под общ. ред. В. Л. Яровенко. – М.: Колосс: Колосс-Пресс, 2002. – 464 с
2. Осетров, С. А. Контроль качества зрелой бражки. URL: <http://www.sergey-osetrov.narod.ru/Projects/Fermentation> (дата доступа: 02.01.2020).
3. Болтовский В. С. Теория и технология комплексной гидролитической переработки растительной биомассы / В. С. Болтовский. – Минск: БГТУ, 2014. – 267 с.
4. Ng, T. K. Differential metabolism of cellulose by *Clostridium thermocellum* и *Clostridium thermohydrosulfuricum* / T. K. Ng, J. G. Zeikus // J. Bacteriol. – 1982. – Vol. 150, No. 3. – P. 1391–1399.
5. Степанов Н. А., Ефременко Е. Н., Барфоломеев С. Д. Получение биоэтанола в процессе одновременного осахаривания и ферментации отходов переработки древесины и сельского хозяйства / URL: www.ru.waste.ua/eco/2009/biomass/bioetchnol (дата доступа: 10.01.2021).