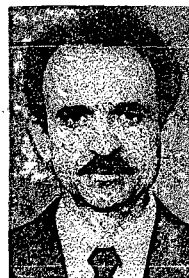


ferricyanide ferricyanide potassium as the mediator. The compound obtained is suggested to be used as the criterium of lignin reactivity in redox-reactions.

УДК 630\*863.5

### *А.В. Канарский*

Канарский Альберт Владимирович родился в 1946 г., окончил в 1975 г. Ленинградскую лесотехническую академию, доктор технических наук, заместитель директора по научной работе Волжского НИИ ЦБП, директор Волжского гидролизно-дрожжевого завода. Имеет 120 печатных трудов в области адсорбции и применения адсорбентов из растительных полимеров; механической, химической и биохимической переработки однолетних растений и древесины; управления научными и производственными коллективами, занимающимися созданием новой техники и технологии.



## **ПЕРСПЕКТИВЫ БИОХИМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ**

Рассмотрена целесообразность применения биохимической переработки древесного сырья в производстве целлюлозы, бумаги, картона, кормов для животных, спирта.

Биоконверсия древесного сырья в промышленных условиях волновала ученых и инженеров давно. Значительным достижением в развитии биохимической переработки древесины является организация микробиологического производства спирта и кормового белка из древесных гидролизатов. Имеется множество попыток использовать методы биотехнологии для получения из лигноцеллюлозного материала и других продуктов.

Анализ научно-технических предложений в области биохимической переработки древесины и определения возможности их применения в промышленности следует проводить весьма осторожно, так как отрицание инновационных предложений может привести к необоснованной ликвидации научных исследований в этой отрасли.

Исходя из этого, оценим инновации со следующих позиций.

1. Предлагаемая технология альтернативна существующим по энерго- и трудозатратам, материалу- и капиталоемкости.
2. Предлагаемая технология, по сравнению с существующей, снижает техногенную нагрузку на окружающую среду.
3. Предлагаемая технология позволяет получить продукт соответствующего качества. Причем цены на продукт, изготавливаемый по этой технологии, сопоставимы с действующими ценами.

Сравнение способов биохимической переработки древесного сырья следует начинать с работ, в которых разрушение древесины в естественных условиях под воздействием микроорганизмов моделируется в производственных условиях. Этот промышленный биопроцесс можно классифицировать как метод твердофазной ферментации древесного сырья (щепы, стружки, опила и т. д.) в газовой среде.

Применение такого способа ферментации для выделения технических видов целлюлозы из древесного сырья маловероятно. Практически в природе отсутствуют микроорганизмы, способные осуществить процесс биоконверсии лигноцеллюлозных материалов с достаточной скоростью и экономичностью.

Использование с этой целью базидиальных дереворазрушающих грибов является новым направлением технической микологии и биотехнологии [1, 2].

Получение высокопродуктивных штаммов путем конструирования продуцентов с помощью методов генной инженерии, биологического скрининга – дорогостоящий и длительный процесс, требующий всестороннего глубокого контроля и осторожности при дальнейших лабораторных и промышленных испытаниях.

Имеется определенная опасность для окружающей среды при создании промышленных штаммов микроорганизмов, так как возрастает возможность интенсивного поражения растительности в районе биохимического предприятия.

Более реальным является получение из отходов древесины и целлюлозно-бумажного производства пищевого белка (плодовых тел) и белково-растительных добавок для кормления жвачных животных (биомасса гриба с остатками субстрата). О значимости пищевого белка грибов в питании человека известно давно. Высокое содержание белка, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ определяет его питательную ценность.

Культивирование базидиальных грибов на лигноцеллюлозных субстратах позволяет получать продукт, содержащий 12 ... 19 % протеина. Обогащение белком лигноцеллюлозных материалов – один из путей улучшения кормовых качеств растительных субстратов. Второй путь – увеличение перевариваемости, что может быть достигнуто деструкцией основных компонентов растительного сырья (лигнина и целлюлозы).

С этой целью используют микроорганизмы родов *Coriolus*, *Pleurotus*, *Daedaleopsis*, *Lentinus*, *Fomitopsis*, обладающие способностью разрушать лигноцеллюлозный комплекс [6].

Введение в рацион кормления белково-растительных добавок способствует плодотворному развитию микроорганизмов рубца жвачных животных и интенсивному усвоению клетчатки. При этом удой молока увеличиваются до 30 %, привесы – до 50 %.

Биоконверсия лигноцеллюлозных материалов базидиальными грибами с получением пищевого белка и белково-растительных добавок достаточно изучена, чтобы организовать этот процесс в производственных усло-

виях. Расчеты показывают, что данная технология может вполне конкурировать с другими способами получения кормового белка.

Значительно интенсивней проходит твердофазная ферментация лигноцеллюлозных материалов в культуральной жидкой среде, которая классифицируется как глубинная ферментация субстратов. В данном случае субстратом являются измельченные лигноцеллюлозные материалы (щепа, опилки, целлюлоза, макулатура и т. д.). Осуществление процесса с целью выделения целлюлозы этим способом не дает положительных результатов. В какой-то степени более эффективно в этих условиях проходит обработка перед отбелкой целлюлозы, макулатуры, древесных волокон. [8].

Глубинная ферментация субстратов имеет несколько серьезных недостатков, которые едва ли позволят реализовать ее в промышленности. В частности, для поддержания жизнедеятельности микроорганизмов (необходимые температурные условия и аэрация) нужны значительные энергозатраты. Появляются дополнительные затраты на выращивание чистой культуры микроорганизмов – инокулюма, непрерывная подача которого в ферментер способствует получению необходимой продуктивности ферментации. Кроме того, для питания микроорганизмов требуются азот, калий, фосфор, в некоторых случаях витамины, поскольку лигноцеллюлозные материалы древесного происхождения не содержат этих веществ.

Возникает проблема отделения микроорганизмов (живых и мертвых) от обработанных лигноцеллюлозных материалов. Этот аспект имеет санитарно-гигиеническое значение как при проведении технологического цикла, так и при эксплуатации бумаги, картона и др., полученных из лигноцеллюлозных материалов, обработанных микроорганизмами. Следует ожидать старения бумаги и картона в результате биодеструкции, вызванной оставшимися в них микроорганизмами и микроорганизмами, проросшими из спор.

Рассматриваемое биопроизводство является источником выделения в окружающую среду опасных для человека бактерий и спорообразующих мицелиальных грибов.

Таким образом, твердофазная ферментация в жидкой культуральной среде в целях отбелки и облагораживания волокнистых полуфабрикатов является энерго- и материалоемким процессом, экологически далеко не безопасным для окружающей среды. Возможно, для получения каких-то специфических видов целлюлозно-бумажной продукции он будет приемлемым, но его реализация потребует значительных затрат.

Однако применение этого способа ферментации возможно при обогащении лигноцеллюлозных материалов кормовым белком, продуценты которого – бактерии и мицелиальные грибы, т. е. итогом процесса будет получение растительно-белковых кормовых добавок для жвачных животных.

Выращивание данным способом продуцентов белка и степень утилизации трудноперевариваемых компонентов растительных субстратов зависят от многих факторов (вида гриба, подготовки субстрата и инокулюма, условий выращивания, источников питательных веществ), которые необхо-

димо учитывать при ферментации. Для интенсификации процесса лигноцеллюлозные материалы необходимо предварительно измельчать до размеров, соответствующих дисперсности стандартной древесной муки.

Способ получения растительно-белковых кормовых добавок твердофазной ферментацией в жидкой среде имеет ряд преимуществ по сравнению с твердофазной ферментацией в газообразной среде. Но низкая продуктивность и высокие затраты на обезвоживание и сушку продукта снижают его экономичность.

Сложность реализации твердофазных методов ферментации для биохимической переработки лигноцеллюлозных материалов привела к использованию для этих целей другого биохимического способа обработки – ферментативного гидролиза, при котором обработку этих материалов ведут предварительно выделенными и отделенными от микроорганизмов ферментами.

Ферментативный гидролиз [3, 5, 7, 8] можно применять для обработки щепы с целью получить целлюлозу, для обработки небеленой целлюлозы перед ее отбелкой в сочетании с обработкой кислородом в щелочной среде. Для этого рекомендуется использовать ксиланазу. При этом появляется возможность снизить расход хлора и, соответственно, техногенную нагрузку на окружающую среду. Применение ферментных препаратов глюкоксидазы способствует частичному удалению глюконовой кислоты, снижению содержания металлов в целлюлозной массе и сохранению белизны.

Ферментативный гидролиз рекомендуется использовать при облагораживании макулатуры для увеличения белизны и прочностных характеристик бумаги и картона. Известны попытки его применения для гидролиза древесины и целлюлозы с получением глюкозы и последующей ее биохимической переработкой на спирт и кормовые дрожжи.

Современная ферментная промышленность в состоянии производить ферменты – катализаторы биохимических реакций, в том числе ферменты целлюлолитического, геммицеллюлазного, пектолитического, лигнолитического действия. Производителями этих ферментов являются бактерии, дрожжи и мицелиальные грибы. В промышленном производстве ферментов широко используют бактерии родов *Clostridium*, *Bacillus*, дрожжи рода *Candida*, микромицеты родов *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium* и др. [4].

Получение чистых ферментов – достаточно трудоемкий процесс, требующий сложного аппаратного оформления, что ведет к увеличению стоимости продукта. Поэтому выпускаемые технические препараты ферментов различной степени очистки обладают активностями различного гидролитического действия.

В этой связи следует отметить, что применение чистых ферментов, например ксиланазы, при обработке целлюлозы перед отбелкой делает процессы ферментирования нерентабельными. С другой стороны, применение неочищенных ферментных препаратов приводит к нежелательным побочным биохимическим реакциям. Например, присутствие в ферментных пре-

параатах ксиланазы, маннаназы и целлюлазы отрицательно сказывается на свойствах бленой целлюлозы, в частности снижает степень ее полимеризации.

Проблемы, связанные со стоимостью ферментов и их чистотой, являются основной причиной, которая сдерживает освоение ферментативного гидролиза лигноцеллюлозных материалов в промышленных условиях. Но существуют и другие причины:

достаточно быстрое загрязнение ферментов посторонней микрофлорой, что снижает их активность и срок хранения;

применение ферментов при определенной температуре среды;

оборудование, соприкасающееся с ферментной средой, не должно выделять ионы многовалентных металлов, что снижает активность ферментов;

требуется регенерация ферментов как достаточно дорогих веществ.

Теоретически ферменты можно использовать бесконечно, однако организовать в условиях целлюлозно-бумажного производства их регенерацию достаточно проблематично. Укажем лишь на один фактор: целлюлозу используют как вещество для иммобилизации ферментов, поэтому высока вероятность уноса ферментов с товарной целлюлозой.

Необходимо отметить, что ферментативный гидролиз проходит на доступной ферментам поверхности лигноцеллюлозных материалов. По этой причине гидролиз таких плотных материалов, как древесина и целлюлоза, до глюкозы является весьма продолжительным и сложным для реализации в промышленности процессом.

Перечень причин, сдерживающих освоение переработки лигноцеллюлозных материалов методом ферментативного гидролиза, можно продолжить.

Целесообразность применения метода ферментативного гидролиза в производстве волокнистых полуфабрикатов, бумаги и картона обосновывается возможностью сокращения потребления опасных химических веществ.

Однако аэрозолирование микроорганизмов при получении ферментов и ферментных препаратов не менее опасно для окружающей среды, чем выделение вредных веществ в целлюлозно-бумажном производстве. Поэтому едва ли целесообразно расширение микробиологического производства с целью увеличить выпуск ферментов и ферментных препаратов до объемов, необходимых для промышленной переработки лигноцеллюлозных материалов.

Видимо, отсутствие достаточного предложения на рынке ферментов и ферментных препаратов по качеству, цене и объему будет сдерживающим фактором в реализации рассматриваемого научно-технического направления.

Вышеприведенный анализ областей применения биохимической переработки лигноцеллюлозных материалов указывает на то, что наиболее эффективные направления биотехнологии уже давно известны и использовались совместно с химической переработкой древесины.

Во-первых, это биохимическая переработка щелоков от производства сульфитной и других видов целлюлозы, содержащих углеводы, которые ассимилируются дрожжами. К сожалению, сегодня эти производства на многих предприятиях остановлены. Остается только рекомендовать специалистам, которые занимаются разработкой технологии целлюлозы, учитывать экономическую целесообразность переработки щелоков биохимическим способом на спирт и кормовые дрожжи, а не сжигать ценные органические вещества в топке регенерационных аппаратов.

Во-вторых, это биохимическая переработка древесных гидролизатов на спирт и кормовой белок.

В последние годы со стороны промышленников интерес к биохимической переработке древесных гидролизатов явно снизился. Более того, предприятия, производящие спирт и кормовые дрожжи, переходят на крахмалосодержащее сырье и мелассу. Каковы причины этого явления? Ответ на поставленный вопрос надо искать в самой технологии.

Суть в том, что древесное сырье не подвергается прямой биоконверсии дрожжами р. *Candida*, продуцирующими кормовой белок, и р. *Saccharomyces*, выделяющими спирт. Поэтому древесную клетчатку подвергают кислотному гидролизу до моносахаров. Этот гидробаротермохимический процесс весьма энерго-, трудо- и материалоемок и требует значительных капитальных затрат на его реализацию. Выход спирта и дрожжей несопоставим с количеством отходов, образующихся в производстве (достигает 75 % от используемого сырья). При этом ни твердые, ни газообразные отходы гидролизного производства реально не нашли применения в народном хозяйстве. Высокая энергоемкость, низкий выход готовой продукции, большое количество отходов в сочетании с применением агрессивных химических веществ поставили гидролизно-дрожжевые и гидролизно-спиртовые предприятия в конфликт с природой. По сути, эта отрасль еще на этапе ее создания была экономически нецелесообразна и весьма опасна для окружающей среды.

Поэтому предприятия переходят на крахмалосодержащее сырье и мелассу. При переработке этих видов органического сырья достигается высокий выход готового продукта, значительно снижается техногенное воздействие на окружающую среду, отходы используются как кормовые белковые добавки, практически нет опасных газовых выбросов в атмосферу. На этих предприятиях достаточно небольшое количество сточных вод и можно организовать замкнутые системы водоснабжения. Перечисленное выше делает эти производства достаточно прибыльными.

Что же делать с гидролизно-дрожжевыми и гидролизно-спиртовыми заводами? Возможна ли организация на этих предприятиях экономически выгодных производств по переработке древесного сырья биотехнологическим методом?

Анализ опубликованных работ, затрагивающих научно-техническое развитие рассматриваемой отрасли производства, показывает, что гидролизно-дрожжевые и гидролизно-спиртовые заводы имеют право на существо-

вание. Посылкой тому, как и прежде, является наличие в России древесного сырья. Однако необходимо принципиально изменить подход к его использованию. Сырье должно перерабатываться комплексно, должны отсутствовать твердые и жидкие отходы при значительном снижении газообразных.

Технико-экономические расчеты показывают целесообразность создания производств, комплексно перерабатывающих низкосортную древесину и древесные отходы с получением не только спирта, кормового белка, фурфурола, но и таких продуктов, как активный уголь, древесноволокнистые плиты сухого способа типа МДФ средней плотности, органоминеральные удобрения из гидролизного лигнина.

Организация экономически эффективного производства по биохимической переработке древесины на спирт и кормовой белок невозможна без выпуска дополнительной продукции из промышленного лигнина. Следует отметить, что дрожжи, получаемые на основе древесных гидролизатов, содержат значительно больше протеина, чем сухая барда спиртового производства на основе зерна. Спирт на основе древесных гидролизатов по чистоте приближается к спирту из злаковых культур, а тем более из свеклы и мелассы. Фурфурол, являющийся уникальным продуктом, промышленно можно получать только принятым в настоящее время способом дегидратации пентоз. Попытки заменить фурфурол другими веществами не дают положительных результатов. Активный уголь, древесноволокнистые плиты типа МДФ сухого формования и органоминеральные удобрения имеют спрос как на внутреннем, так и на мировом рынке.

Следовательно, гидролизно-дрожжевые и гидролизно-спиртовые заводы должны быть составной частью предприятий, комплексно перерабатывающих древесину. Создание биотехнологических производств в сочетании с другими химическими производствами по переработке древесины будет способствовать не только возрождению отрасли, но и техническому прогрессу в области биохимической переработки древесины.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабицкая В.Г.* Мицелиальные грибы – продуценты белковой биомассы на лигноцеллюлозных субстратах // Микология и фитопатология. – 1986. – Т. 20, № 5. – С. 377–385.
2. *Виестур И.Е., Шмите И.А., Жилевич А.В.* Биотехнология. – Рига: Зинатне, 1987. – 263 с.
3. Влияние биообработки целлюлозосодержащих материалов на их бумагообразующие свойства / М.Я. Иоснович, Н.Р. Озолина, А.П. Трейманис, М.Г. Лака, Ц.Л. Абрамович // Химия древесины. – 1992. – № 1. – С. 34–37.
4. *Грачева И.М.* Технология ферментных препаратов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 335 с.
5. Использование биотехнологии в зарубежной целлюлозно-бумажной промышленности // Бум. пром-сть. – 1977. – № 11. – С. 22.
6. Получение растительно-белковой кормовой добавки путем культивирования высших дереворазрушающих грибов на твердых растительных субстратах