Лекция 3. Способы внесения ферментного препарата. Биоконверсия побочных продуктов зерновых культур

Кафедра биотехнологии, КазНУ имени аль-Фараби

проф. д.б.н. Кенжебаева С.С.

Цель лекции
Ожидаемые результаты освоения лекции

- **Цель лекции**
- Сформировать у магистрантов системное представление о способах внесения ферментных препаратов, принципах оптимизации ферментативных процессов и современных технологиях биоконверсии побочных продуктов зерновых культур, направленных на повышение эффективности переработки растительного сырья, получение ценных биопродуктов и рациональное использование биологических ресурсов.
- **Ожидаемые результаты обучения**
- **1. Теоретические знания**
  - **Состав сырья:** Понимание химического состава побочных продуктов (отруби, шелуха, зародыши, солома).
  - **Механизмы:** Знание принципов ферментативного гидролиза и микробиологической ферментации.
  - **Продукты:** Понимание того, какие ценные вещества можно получить (белковые изоляты, кормовые добавки, этанол, биогаз).
  - **2. Практические умения и навыки**
  - **Выбор технологий:** Способность подбирать оптимальные штаммы микроорганизмов и ферментные препараты для конкретного сырья.
  - **Расчеты:** Умение рассчитывать параметры процессов (температура, влажность, pH, дозано-ферментные показатели).
  - **Оценка эффективности:** Владение методами анализа качества полученного продукта (содержание белка, витаминов, углеводов).
- **3. Компетенции и профессиональное применение**
  - **Безотходное производство:** Способность применять принципы циркулярной экономики в АПК.
  - **Экологичность:** Понимание методов снижения экологической нагрузки на окружающую среду за счет утилизации отходов.
  - **Разработка новых продуктов:** Готовность применять знания для создания продуктов питания нового поколения (функциональное питание) или высокоценных кормов

Содержание лекции

1. Способы внесения ферментного препарата.
2. Контроль технологических параметров
3. Ферментативная обработка зерновых. Комбинированные ферментативные технологии
4. Актуальность биоконверсии.
5. Побочные продукты зерновых. Химический состав побочных продуктовю
6. Основные направления биоконверсии.
7. Основные биотехнологические процессы биоконверсии
8. Технологический процесс биоконверсии.



Способы внесения ферментного препарата

После подготовки сырья осуществляется внесение ферментного препарата.

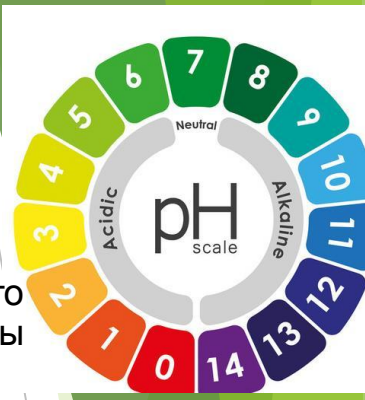
Ферменты могут применяться в виде сухих порошков или жидких растворов. Дозировка ферментного препарата определяется видомсырья, его химическимсоставом, а также цельюбиообработки.

В агробиотехнологии чаще всего используют комплексные ферментные препараты, содержащие несколько видов ферментов, например амилазы, протеазы и фитазы.

Это позволяет одновременно воздействовать на разные компоненты растительного сырья и повышать общуюэффективность процесса.

На данном этапе важно обеспечить равномерное распределение ферментов по всему объёму сырья, так как неравномерное внесение приводит к неоднородности обработки и снижениюкачества конечного продукта.

Инкубация при оптимальных условиях



Инкубация является основным этапом ферментативной биообработки, в ходе которого непосредственно протекают биохимические реакции. На этом этапе ферменты взаимодействуют с субстратамии осуществляют гидролиз сложных биополимеров.

Для эффективной работы ферментов необходимо строгое соблюдение оптимальных условий, прежде всего температуры и кислотности среды. Для большинства ферментов, используемых при переработке растительного сырья, оптимальная температура находится в диапазоне от 30 до 55 °C. При более низких температурах активность ферментов снижается, а при более высоких—возможно их частичное или полное инактивирование.

Не менее важным параметром является pH среды. Большинство ферментов, применяемых в биообработке зерновых культур, проявляют максимальную активность в слабокислой или нейтральной среде. Отклонение pH от оптимальных значений приводит к изменению структурыфермента и снижениюего активности.

Продолжительность инкубации может варьировать от нескольких часов до суток и более, в зависимости от вида сырья, состава ферментного препарата и желаемого результата биообработки.

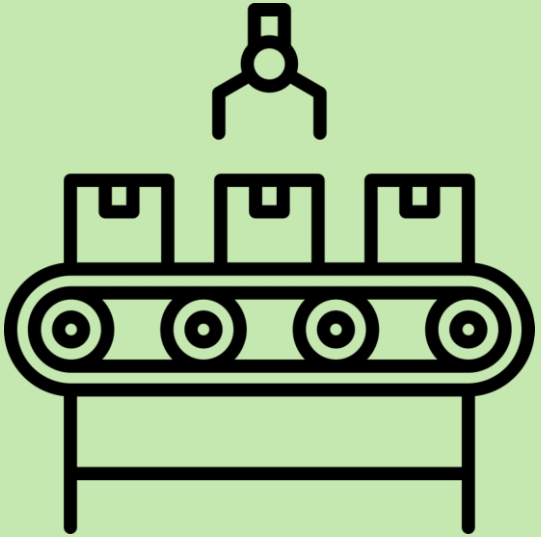


Завершение процесса и стабилизация продукта

После достижения требуемой степени биообработки процесс необходимо завершить. Это делается с целью предотвращения дальнейшего неконтролируемого действия ферментов. Завершение процесса может осуществляться путём снижения температуры, изменения pH или удаления влаги.

Стабилизация продукта необходима для сохранения достигнутых свойств и обеспечения его дальнейшего хранения и использования. В результате стабилизации получают биопродукт с улучшенными питательными и функциональными характеристиками.

На данном этапе важно сохранить биологическую ценность продукта и предотвратить развитие нежелательных микробиологических процессов.





Контроль технологических параметров

Контроль технологических параметров — это система наблюдения и регулирования условий, при которых протекает ферментативная биообработка.

Основные параметры:

1. **Температура – критический фактор, влияющий на активность ферментов.**
2. **pH среды – определяет форму фермента и скорость реакции.**
3. **Влажность / содержание воды – необходима для гидролитических реакций.**
4. **Время инкубации – продолжительность процесса определяет степень гидролиза.**
5. **Однородность смеси – равномерное распределение ферментов и влаги по всему объёму сырья.**

Если не поддерживать оптимальные условия, ферменты будут работать плохо или не работать совсем, и весь технологический эффект биообработки теряется.

Именно поэтому все ферментативные технологии требуют тщательного мониторинга температуры, pH, времени и влажности — это обеспечивает стабильность и воспроизводимость процесса.

Ферментативная обработка зерновых. Комбинированные ферментативные технологии

Пшеница и ячмень

Фитаза + ксиланаза + протеаза

- • Снижение антипитательных факторов
- • Повышение биодоступности макро- и микроэлементов
- Синергетический эффект •
- • Глубокая переработка

Основные источники сырья и ферментов (Промышленный аспект)

.

КОМПЛЕКС ФЕРМЕНТАТИВНОЙ БИООБРАБОТКИ

Источники субстратов	Источники ферментов
Целлюлозосодержащие	Грибные (Aspergillus, Trichoderma) •
Крахмалсодержащие	Бактериальные (Bacillus)
Пектинсодержащие	Растительные (Папаин, бромелайн)

1. Источники растительного сырья (Субстраты)

•**Лигноцеллюлозная биомасса**: Древесные опилки, солома злаковых культур (пшеница, рис), багасса сахарного тростника, кукурузная кочерыжка. Главный источник углеводов для получения биоэтанола. **Крахмалсодержащее сырье**: Зерно (пшеница, рожь, кукуруза), клубни картофеля и топинамбура. Используются в спиртовой и кондитерской промышленности.
•**Пектинсодержащие материалы**: Жом сахарной свеклы, выжимки цитрусовых и яблок. Применяются для экстракции структурообразователей и осветления соков.

2. Источники получения ферментов (Биологические агенты)

•**Микромицеты (грибы)**: Штаммы *Trichoderma reesei* (основной источник мощных целлюлаз) и *Aspergillus niger* (источник пектиназ, амилаз, глюкоамилаз).
•**Бактерии**: Представители рода *Bacillus* (например, *Bacillus subtilis*), синтезирующие высокоактивные термостабильные амилазы и протеазы.
•**Высшие растения**: Сами растительные ткани служат источником специфических ферментов, таких как папаин (из папайи), бромелайн (из ананаса) или мальт-амилазы (из проросшего солода).

Преимущества ферментативных технологий. Практическое применение

. Экологичность
- Селективность
- Энергосбережение
- Совместимость с ферментацией

Функциональные продукты
- Кормовые добавки
- Переработка отходов

АПК

Практическое значение ферментативной биообработки растительного материала

Ферментативная биообработка растительного материала улучшает питательную и биологическую ценность сырья. Под действием ферментов, таких как амилазы, протеазы, целлюлазы и фитазы, происходит расщепление крахмала, белков, клетчатки и фитиновой кислоты. В результате: микро- и макроэлементы высвобождаются и становятся биодоступными, белки и углеводы легче усваиваются, а антипитательные соединения, ограничивающие усвояемость питательных веществ, разрушаются.

Это повышает пищевую и кормовую ценность зерна и других растительных материалов, делает процесс переработки более эффективным и экономичным. При этом ферментативные технологии экологически безопасны, так как проходят при мягких условиях без применения агрессивных химических веществ.

-

Практическое применение этих технологий охватывает различные отрасли:

кормопроизводство (повышение усвояемости зерна и кормов),
пищевая промышленность (обогащённые хлеб, напитки, функциональные продукты) агробиотехнологическую переработку отходов (биотопливо, кормовые добавки, компост).



Актуальность биоконверсии

1. **Большие объёмы отходов зернопереработки**
2. **Экологическая нагрузка**
3. **Потенциал циркулярной биоэкономики**
4. **Повышение добавленной стоимости продуктов**

Понятие биоконверсии

Биоконверсия побочных продуктов зерновых культур (солома, отруби, лузга, зерновая пыль) — это их переработка с помощью ферментов, бактерий или грибов в ценные продукты:

биотопливо (биоэтанол, биогаз),

органические кислоты,

кормовой белок и

пищевые добавки.

Продукты переработки зерновых

Побочные продукты зерновых

- **• Солома пшеницы**
- **• Отруби**
- **• Шелуха ячменя**
- **• Жмыхи и дробина**

Химический состав побочных продуктов

- **• Целлюлоза**
- **• Гемицеллюлозы**
- **• Лигнин**
- **• Белки и минералы**

Основные направления биоконверсии

- базируются на расщеплении сложных полисахаридов (целлюлозы, гемицеллюлозы и крахмала):
- **Гидролиз (ферментативный или кислотный):** Расщепление полимеров до простых сахаров. Для этого применяют целлюлолитические и амилолитические ферментные препараты.
- **Ферментация (брожение):** Преобразование полученных сахаров микроорганизмами в этанол, молочную, лимонную или другие кислоты.
- **Твердофазная ферментация:** Выращивание мицелия грибов (например, *Pleurotus* или *Trichoderma*) на соломе или отрубях для получения обогащенного белком корма для скота

Основные направления биоконверсии побочных продуктов зерновых культур

- Биоконверсия — преобразование органических компонентов растительного сырья под действием ферментов и микроорганизмов с получением продуктов повышенной пищевой, кормовой и промышленной ценности.
- **Основные направления:**

1. Ферментативная биоконверсия — гидролиз крахмала, целлюлозы, гемицеллюлоз и белков.
2. Микробная биоконверсия — преобразование органических субстратов бактериями, дрожжами и микроскопическими грибами.
3. Получение функциональных ингредиентов — выделение и модификация пищевых волокон, белковых гидролизатов и биоактивных соединений.
4. Биоэнергетическая конверсия — производство биоэтанола, биогаза и других видов биотоплива.
5. Биосинтез ценных метаболитов — получение органических кислот, ферментов и биополимеров.

Побочные продукты зерновых культур

Ферментативная обработка

Микробная ферментация

Выделение биоактивных веществ

Биоэнергетическая конверсия

Продукты с высокой добавленной стоимостью

Ферментативная и микробная биоконверсия зерновых отходов

Ферментативная биоконверсия

- Целлюлазы и гемицеллюлазы — гидролиз структурных полисахаридов.
- Амилазы — расщепление остаточного крахмала до декстринов и сахаров.
- Протеазы — получение пептидов и аминокислот.
- Ферулоилэстеразы — высвобождение связанной феруловой кислоты из клеточных стенок.

Микробная биоконверсия

- Saccharomyces cerevisiae — ферментация доступных сахаров с получением этанола.
- Lactobacillus и родственные молочнокислые бактерии — получение молочной кислоты и модификация пищевых компонентов.
- Aspergillus spp. — производство гидролитических ферментов и некоторых органических кислот.
- Bacillus spp. — синтез промышленных ферментов и биологически активных метаболитов.

Ключевые параметры: pH, температура, влажность, размер частиц, дозировка ферментов, продолжительность обработки и состав микробной культуры.

Продукты биоконверсии и перспективы их применения

Исходное сырьё	Продукты биоконверсии	Применение
Пшеничные отруби	Олигосахариды, фенольные соединения	Функциональные ингредиенты
Солома пшеницы	Ферментируемые сахара	Биотопливо, биохимикаты
Рисовая шелуха	Сахара после предварительной обработки и гидролиза	Биотехнологические производства
Зерновые остатки	Органические кислоты	Пищевая и химическая промышленность
Отруби и зерновые побочные продукты	Ферменты, обогащённая микробной	Промышленные и кормовые

Биологические агенты биоконверсии

- • Бактерии (Bacillus spp., Lactobacillus spp.)
- • Микроскопические грибы (Trichoderma, Aspergillus)
- • Ферментные препараты

Основные биотехнологические процессы биоконверсии

- • Твёрдофазная ферментация
- • Жидкофазная ферментация
- • Ферментативный гидролиз
- • Комбинированные процессы

Перспективные направления биоконверсии

1. Интеграция ферментативного гидролиза и микробной ферментации.
2. Разработка многокомпонентных ферментных препаратов.
3. Использование специализированных микробных консорциумов.
4. Каскадная переработка сырья в биорефинериях.
5. Повышение экономической эффективности и сокращение отходов.

- Основной вывод: Биоконверсия позволяет рассматривать побочные продукты зерновых культур не как отходы, а как возобновляемое сырьё для получения функциональных ингредиентов, биохимикатов и биотоплива.

Основные биотехнологические процессы биоконверсии

Твердофазная ферментация (SSF)

- Процесс протекает на поверхности твердых материалов (зерно, отруби) с достаточной влажностью, имитируя природные условия роста грибов.
- Экологичнее, требует меньше воды, обеспечивает высокую концентрацию продуктов.

Жидкофазная ферментация (глубинная)

- Микроорганизмы суспендированы в жидкой питательной среде.
- Широко применяется в промышленности для производства антибиотиков, кислот и ферментов.

Основные биотехнологические процессы биоконверсии

Ферментативный гидролиз:

- Процесс расщепления сложных органических соединений (полимеров) на более простые компоненты (мономеры) с помощью ферментов, часто используется для подготовки субстрата.
- Применение методов ферментации позволяет перерабатывать сельскохозяйственные отходы и получать ценные биотехнологические продукты.

Комбинированные процессы:

- Сочетание различных типов ферментации или ферментативного гидролиза с ферментацией в одном цикле (например, одновременный осахаривание и ферментация - SSF в биоэтанольном производстве), что увеличивает эффективность.

Технологический процесс биоконверсии

- состоит из этапов:

1. **Подготовка:** Мельничное измельчение и термическая/гидротермическая обработка (взрывная автодеструкция).
2. **Биотрансформация:** Добавление ферментных комплексов или бактериальных заквасок.
3. **Выделение продукта:** Фильтрация, дистилляция или сушка готового вещества.

Продукты биоконверсии

Биоконверсия соломы

- • Разрушение лигноцеллюлозного комплекса
- • Повышение переваримости
- • Получение кормов и биоудобрений

Биоконверсия отрубей

- Микробная ферментация
- • Снижение фитатов
- • Получение функциональных ингредиентов

- Кормовые добавки.
- Органические кислоты. Биоудобрения
- Биосубстраты

Экологические и экономические преимущества биоконверсии

- • Утилизация отходов АПК
- • Снижение выбросов
- • Повышение рентабельности
- • Устойчивое развитие

Биоконверсия побочных продуктов зерновых культур является одним из ключевых направлений агробиотехнологии

- Связь между ними выражается в следующих аспектах:
- Использование штаммов-продуцентов: Агробиотехнология селекционирует эффективные микроорганизмы (грибы, бактерии). Они ускоряют разложение лигноцеллюлозы.
- Ферментная инженерия: Разработка специфических ферментных комплексов (целлюлаз, ксиланаз). Они расщепляют прочную клеточную стенку соломы и лузги.
- Биопрепараты для силования: Создание бактериальных заквасок на основе молочнокислых бактерий. Это улучшает сохранность и усвояемость кормов.
- Циркулярная экономика: Агробиотехнологические методы переводят АПК на безотходное производство. Отходы одного цикла становятся сырьем для другого.
- Эко-удобрения: Биодеструкция пожнивных остатков прямо в поле с помощью консорциумов микроорганизмов. Это восстанавливает плодородие почвы.

Заключение

1. Эффективность ферментативной биообработки определяется способом внесения ферментных препаратов, их дозировкой, равномерностью распределения и условиями взаимодействия с субстратом.
2. Применение свободных и иммобилизованных ферментов, а также поэтапное и комбинированное внесение ферментных препаратов позволяет оптимизировать процессы гидролиза растительных биополимеров.
3. Побочные продукты зерновых культур — отруби, солома, шелуха и другие растительные остатки — являются ценным источником полисахаридов, белков и биологически активных соединений.
4. Ферментативные и микробиологические технологии биоконверсии способствуют получению ферментируемых сахаров, пищевых и кормовых ингредиентов, органических кислот и других биопродуктов.
5. Комплексная переработка побочных продуктов зерновых культур обеспечивает повышение ресурсной эффективности, снижение количества отходов и развитие циркулярной биоэкономики.

- Основной вывод: Рациональный выбор способов внесения ферментных препаратов и применение современных технологий биоконверсии позволяют повысить эффективность использования зернового сырья и его побочных продуктов, создавая научно-технологическую основу устойчивого биопроизводства.

Контрольные вопросы

1. Что такое твердофазная ферментация (Solid-State Fermentation, SSF) и в
2. чем ее главное преимущество при переработке зерновых отходов?
3. Какую роль выполняют ферменты ксиланаза и целлюлаза в процессе
4. биоконверсии лигноцеллюлозного сырья?
5. Назовите основные продукты, которые можно получить в результате
6. биотрансформации вторичных ресурсов зернопереработки.
7. Какие микроорганизмы (бактерии или микроскопические грибы) предпочтительны
8. для обогащения отрубей микробным белком и почему?
9. Каким образом параметры среды (pH, температура, влажность субстрата)
10. влияют на выход целевого продукта при биоконверсии соломы?
11. Какие предварительные методы подготовки (физические или химические)
12. необходимы для повышения доступности клеточных оболочек зерна к
13. действию ферментов?
14. Какие побочные продукты образуются при переработке зерна?
15. В чём сущность биоконверсии?
16. Какие микроорганизмы применяются?
17. Практическое значение биоконверсии?

Литература

- **Сидоренко О. Д.** *«Биоконверсия вторичного сырья и отходов агропромышленного комплекса»*. — Москва: ИНФРА-М. В пособии подробно рассматриваются биологические методы переработки отходов АПК и вторичных сырьевых ресурсов.
- **Машанов А. И., Величко Н. А., Ташлыкова Е. Е.** *«Биоконверсия растительного сырья»*. — Красноярск: КрасГАУ. Книга охватывает основы биотехнологических процессов, общие сведения о ферментных препаратах и их применении при переработке субстратов растительного происхождения.
- **Шлейкин А. Г.** *«Основы биоконверсии»*. — Санкт-Петербург: Университет ИТМО. Описывает механизмы ферментации крахмалосодержащего сырья и биохимические основы биотрансформации.
- **Научные статьи и прикладные исследования**
- **Колпакова В. В. и др.** *«Биоконверсия вторичных продуктов переработки зерна...»*. — Исследование процессов микробиологической переработки побочных фракций зерна (например, тритикале) с целью получения биологически ценных белковых продуктов и грибных препаратов.
- **Хромова Н. Ю.** *«Биотехнологическая конверсия зернового сырья для получения функциональных ингредиентов»*. — Диссертационная работа и статьи автора содержат глубокий химический анализ пентозаносодержащих побочных продуктов пшеницы и технологий их микробной ферментации.
- **Перушкина Е. В., Кузьмина Е. Е. и др.** *«Продукты биоконверсии крахмала зернового сырья с применением солода и ферментного препарата»*. — Статья посвящена подбору ферментных комплексов (целлюлаз, ксиланаз) для гидролиза некрахмалистых полисахаридов оболочек зерна.

Литература

- **1. Фундаментальные обзоры по биоконверсии отрубей и соломы**
- **Poudel et al. (2026)** — *«Bioconversion of Wheat Bran into High-Value Products: A Review of Pretreatment Methods and Microorganism Applications»*.
  - **Суть:** Комплексный свежий обзор, описывающий химическую структуру пшеничных отрубей (целлюлоза, гемицеллюлоза, арабиноксиланы) и методы их подготовки (физические, ферментативные) для микробной биорефинерии.
- **Sirohi R. et al. (2020)** — *«Upgrading of cereal industry by-products via fermentation biotechnology»*.
  - **Суть:** Статья из топ-журнала, системно описывающая использование твердофазной (SSF) и глубинной ферментации для превращения рисовой и пшеничной шелухи, отрубей и соломы в биоразлагаемый пластик, органические кислоты и ферменты.
- **2. Получение ферментов на зерновых субстратах**
- **Sadh P. K., Duhan S., Saharan P. (2018)** — *«A Review on Bioconversion of Agro-Industrial Wastes to Industrially Important Enzymes»*.
  - **Суть:** Влиятельная статья, сфокусированная на подборе условий культивирования грибов и бактерий на лигноцеллюлозных отходах злаков для промышленного синтеза ксиланаз, целлюлаз и амилаз.
- **3. Функциональные ингредиенты и биологически активные вещества**
- **Gullón B. et al. (2022)** — *«An Update Regarding the Bioactive Compounds of Cereal By-Products: Extraction and Functional Values»*.
  - **Суть:** Обзор технологий извлечения и биоконверсии ценных компонентов (феруловая кислота, бета-глюканы, токоферолы) из зародышей кукурузы, ячменных отрубей и пивной дробины.