# Лекция 1. Введение в технологии биообработки растительных материалов.

## Химический состав и структурная организация растительного сырья

---

**Теоретические и прикладные аспекты**

Магистратура – Агробиотехнология

**Кафедра биотехнологии, проф. д.б.н. Кенжебаева С.С.**

# Цель лекции. Ожидаемые результаты освоения лекции

***Цель лекции:***

**Сформировать у магистрантов системное представление о теоретических основах, принципах и основных направлениях технологий биообработки растительных материалов, их роли в современной биотехнологии, рациональном использовании растительных ресурсов и создании продукции с высокой добавленной стоимостью на основе экологически безопасных и ресурсосберегающих процессов.**

1. **Ожидаемые результаты освоения лекции**

2. **Понимание глобальных трендов**, актуальности и фундаментальных основ биообработки.

2. **Актуальность и дефиниции:** Предпосылки внедрения биотехнологических методов в переработку растительного сырья, а также терминологический аппарат (понятия «биообработка», «биоконверсия», «биотрансформация»).

**Механизмы процессов:** Различия между энзиматическим (ферментативным) гидролизом и микробной ферментацией (твердофазной, глубинной) растительных субстратов.

**Дифференцировать подходы:** Подбирать конкретный метод биообработки (ферменты, микроорганизмы или их комбинацию) в зависимости от структуры растительного сырья (целлюлоза, крахмал, фитиновые комплексы).

**Оценивать эффективность:** Анализировать теоретические и прикладные аспекты биоконверсии для повышения пищевой, кормовой или технологической ценности сырья.

**Проектировать схемы:** Составлять принципиальные комбинированные технологические схемы переработки растительных материалов и отходов АПК.

# Содержание


1. Актуальность биообработки растительных материалов
2. Понятие биообработки растительных материалов.
3. Теоретические и прикладные аспекты.
4. Основные направления биообработки.
5. Ферментативная биообработка растительных материалов
6. Микробная ферментация растительных материалов.
7. Биоконверсия отходов АПК.
8. Биотрансформация растительными клетками.
9. Комбинированные технологии биообработка растительных материалов.
10. Системное представление о составе и структуре растительного сырья.
11. Растительное сырьё как объект биообработки
12. Основные химические компоненты растительного сырья
13. Структурная организация распределения и биодоступности питательных веществ в зерне.
14. Влияние переработки на биодоступность питательных веществ.
15. Антинутриенты в зерне и эффективных способах их нейтрализации

# Актуальность биообработки растительных материалов

- Рост населения и обеспечение продовольственной безопасности.
- Низкая биодоступность важных микро- и макроэлементов (Fe, Zn, Mg и другие)
- Антипитательные факторы, присутствующие в растительной продукции
- Переход к биоэкономике

# Понятие биообработки растительных материалов

Биообработка растительных материалов — это совокупность технологических процессов, при которых растительное сырьё обрабатывается с использованием биологических факторов: ферментов, микроорганизмов или их метаболитов, для целенаправленного изменения структуры, состава и свойств растительного сырья.

Основные цели биообработки:

- улучшение усвояемости питательных веществ;
- повышение биодоступности микроэлементов;
- улучшение функциональных свойств сырья.

Объекты биообработки:

- зерновые культуры;
- бобовые растения;
- растительные отходы агропроизводства.

# Понятие биообработки растительных материалов

- Биообработка зерновых культур представляет собой совокупность биотехнологических методов, направленных на улучшение пищевой, кормовой и технологической ценности зерна пшеницы и ячменя путём использования ферментов, микроорганизмов и биокаталитических систем.
- Изучение биообработки зерновых культур позволяет интегрировать знания по биохимии, микробиологии и технологии переработки растений, а также формировать компетенции в области устойчивых и экологически безопасных агробиотехнологий.

# Теоретические основы биообработки растительных материалов

1. Ферментативный гидролиз
2. Микробный метаболизм
3. Биокаталитическая селективность
4. Структура клеточной стенки

# 2. Основные технологии биообработки

1. **Ферментативная обработка растительных материалов.** *Основана на применении целлюлаз, ксиланаз, β-глюканаз, фитаз, амилаз и протеаз. Ферментативная обработка способствует разрушению клеточных стенок, снижению фитатов и высвобождению связанных микроэлементов, улучшая хлебопекарные и кормовые свойства зерна.*

2. **Микробная ферментация.** *Использует молочнокислые бактерии, дрожжи и микроскопические грибы. В процессе ферментации активируется эндогенная фитаза зерна, повышается биодоступность важнейших макро- и микроэлементов (Fe и Zn), синтезируются витамины группы B и улучшаются органолептические свойства продуктов.*

3. **Биоконверсия отходов АПК.** *Биоконверсия побочных продуктов АПК - солома, отруби и оболочки зерна подвергаются микробному гидролизу с образованием органических кислот, кормовых добавок и биоудобрений, что соответствует принципам циркулярной биоэкономики.*

4. **Биотрансформация растительными клетками.** *Культуры растительных клеток применяются для модификации фенольных соединений зерновых культур с целью повышения антиоксидантной активности и получения нутрицевтических ингредиентов.*

5. **Иммобилизация ферментов и клеток.** *Иммобилизация фитаз, ксиланаз и микробных клеток в альгинатных или агаровых матрицах обеспечивает стабильность активности, повторное использование биокатализаторов и возможность непрерывных биотехнологических процессов.*

# 2.1. Ферментативная биообработка растительных *материалов*

## *Основные ферменты биообработки* зерновых культур

| Фермент | Субстрат | Зерновая культура | Основной эффект |
|---|---|---|---|
| Фитаза | Фитиновая кислота | Пшеница, ячмень | ↑ биодоступность важных микро- и макроэлементов (Fe, Zn, Mg и другие). |
| Ксиланаза | Арабиноксиланы | Пшеница | Улучшение реологии теста |
| β-глюканаза | β-глюканы | Ячмень | ↓ вязкость, ↑ переваримость |
| Целлюлаза | Целлюлоза | Отруби | Разрушение клеточных стенок |

# 2.2. Микробная ферментация растительных материалов

*Использует молочнокислые бактерии, дрожжи и микроскопические грибы. В процессе ферментации активируется эндогенная фитаза зерна, повышается биодоступность Fe и Zn, синтезируются витамины группы B и улучшаются органолептические свойства продуктов.*

1. *Lactobacillus spp.*
2. *Saccharomyces spp.*
3. *Aspergillus spp.*

**Результат → Синтез витаминов и органических кислот.**

# Схема 1. Типовая технологическая схема биообработки зерновых

Зерно / отруби → предварительная гидратация → микробная ферментация (молочнокислые бактерии) → ферментативный гидролиз (фитаза, ксиланаза) → сушка → функциональный продукт или кормовая добавка.

| Солома пшеницы | Целлюлолитические грибы | Лигноцеллюлозный гидролиз | Кормовые добавки | Солома пшеницы |
|---|---|---|---|---|
| Отруби | Lactobacillus spp. | Ферментация | Функциональные ингредиенты | Отруби |
| Шелуха ячменя | Bacillus spp. | Биоконверсия | Биоудобрения | Шелуха ячменя |
| Жмыхи | Микробные консорциумы | Ферментация | Органические кислоты | Жмыхи |

# Циркулярная биоэкономика растительных материалов

- **Циркулярная биоэкономика растительных материалов** — это модель замкнутого цикла, объединяющая биотехнологии и принципы экономики замкнутого цикла (биорефайнинг).
- Она предполагает глубокую, безотходную переработку биомассы для получения продуктов с высокой добавленной стоимостью, минимизацию отходов и превращение побочных продуктов в новые ценные ресурсы.
- **Ключевые принципы и этапы**
- **Биорефайнинг (глубокая переработка):** Комплексное фракционирование растительного сырья (например, древесины, соломы, лузги, отходов пищевой промышленности) на компоненты: целлюлозу, гемицеллюлозу, лигнин, белки и липиды.
- **Каскадное использование:** Поэтапное применение биоресурсов — от производства высокоценных продуктов (фармацевтика, биополимеры) к материалам (эко-упаковка, стройматериалы) и только затем к биоэнергетике или компостированию.
- **Замкнутый цикл (цикличность):** Отходы одного производства служат сырьем для другого, исключая захоронение на полигонах

# 3. Комбинированные технологии биообработки растительных материалов

**На практике часто применяются комбинированные схемы:** ***микробная ферментация зерна с последующей ферментативной обработкой и биообогащением микроэлементами.***

Такие подходы используются при создании функциональной муки и кормовых премиксов.

Достигается:

1. **синергетический эффект биообработки**
2. **Глубокая переработка сырья**

- **Ферментация → ферментативный гидролиз → стабилизация**

# Применение комбинированных технологии биообработки растительных материалов в агробиотехнологии

*Позволяют получать* :

1. **Функциональные продукты питания.**

*Улучшать:*

1. **Кормопроизводство.**

*Обеспечивают:*

1. **Экологическая устойчивость**

# Современные научные подходы (2019–2025)

1. Консорциумы микроорганизмов
2. Иммобилизованные ферменты
3. Интеграция с селекцией
4. Цифровое моделирование

# Выводы

- • Биообработка — ключевая технология XXI века
- • Основа устойчивой агробиотехнологии
- • Высокая практическая значимость

# Современные научные источники (2019–2025)


- 1. Kumar V., Sinha A.K., Makkar H.P.S. Phytate and phytase in grain processing. *Food Chemistry,* 2019 (Q1).
- 2. Abdel-Aal E.S.M., Hucl P. Biofortification and processing of wheat. *Journal of Cereal Science,* 2020 (Q1).
- 3. Sanz-Penella J.M. et al. Fermentation and mineral bioavailability in cereals. *Trends in Food Science & Technology,* 2021.
- 4. Guo R. et al. Enzymatic processing of cereal by-products. *Bioresource Technology,* 2022.
- 5. Voučko B. et al. Sustainable cereal processing and bioeconomy. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 2024.
- 6. Khalid M. et al. Agro-industrial waste bioconversion. *Journal of Cleaner Production,* 2025.

# Растительное сырьё как объект биообработки. 1. Основные химические компоненты растительного сырья

1. • Зерновые культуры (пшеница, ячмень)
2. • Побочные продукты АПК
3. • Сложная иерархическая организация
4. • Биополимерная природа.

**Основные химические компоненты растительного сырья.**

1. *Углеводы (крахмал, целлюлоза, гемицеллюлозы)*
2. *Белки*
3. *Липиды.*
4. *Минеральные вещества.*
5. *Антипитательные компоненты*

# 1.1. Углеводы растительного сырья

- Основная мишень биообработки

1. Крахмал – запасной полисахарид
2. Целлюлоза – структурный компонент
3. Арабиноксиланы и β-глюканы

# 1.2. Белки зерновых культур. 1.3. Липиды и минеральные вещества

## Белки

1. **Глиадины и глютенины (пшеница)**
2. **Гордеины (ячмень)**

**Эти белки зерновых культур формируют матрицу эндосперма зерна.**

**Они также связаны с фитатами.**

## Липиды

- Липиды – зародыш и алейроновый слой
- Fe, Zn, Mg, Ca
- Низкая биодоступность макро- и микроэлементов

## Структура зерна злаков

**Оболочки зерна**
(защитная функция)

**Алейроновый слой**
(белки, Fe, Zn)

**Эндосперм**
(крахмал + белки)

**Зародыш**
(липиды, ферменты)

## Клеточная стенка растительной клетки

**Целлюлозные микрофибриллы**

**Гемицеллюлозы**

**Пектины**

**Лигнин (в соломе)**

# 1.4. Антипитательные компоненты

1. Фитиновая кислота
2. Лектины
3. Полифенолы
4. Ингибиторы ферментов
5. Некрахмальные полисахариды

# Структура зерна

определяет расположение питательных веществ:

- **Эндосперм** (81–85% массы) — основное хранилище **углеводов** (крахмала) и белков (глютена).
- **Оболочка (отруби)** (14–16%) богата:

1. *клетчаткой,*
2. *витаминами группы В,*
3. *минералами (железо, цинк, магний),*
4. *антиоксидантами и фитохимическими соединениями.*

- **Зародыш (2–3%)** содержит:

1. *жиры,*
2. *витамин Е,*
3. *витамины группы В*
4. *минералы и белки.*

# Структура зерна. Биодоступность питательных веществ

- **Макронутриенты** (белки, жиры, углеводы) имеют высокую биодоступность(усваивается более 90%).
- **Микронутриенты** (витамины, минералы) обладают переменной биодоступностью, на которую влияют сложные клеточные и молекулярные структуры зерна (матрикс).
- Например, минералы в оболочке часто связаны с фитатами, что снижает их усвоение.

# Структура и биодоступность питательных веществ зерна

1. Алейроновый слой – минералы
2. Эндосперм – крахмал + белки
3. Структурные барьеры
4. Необходимость биообработки зерна

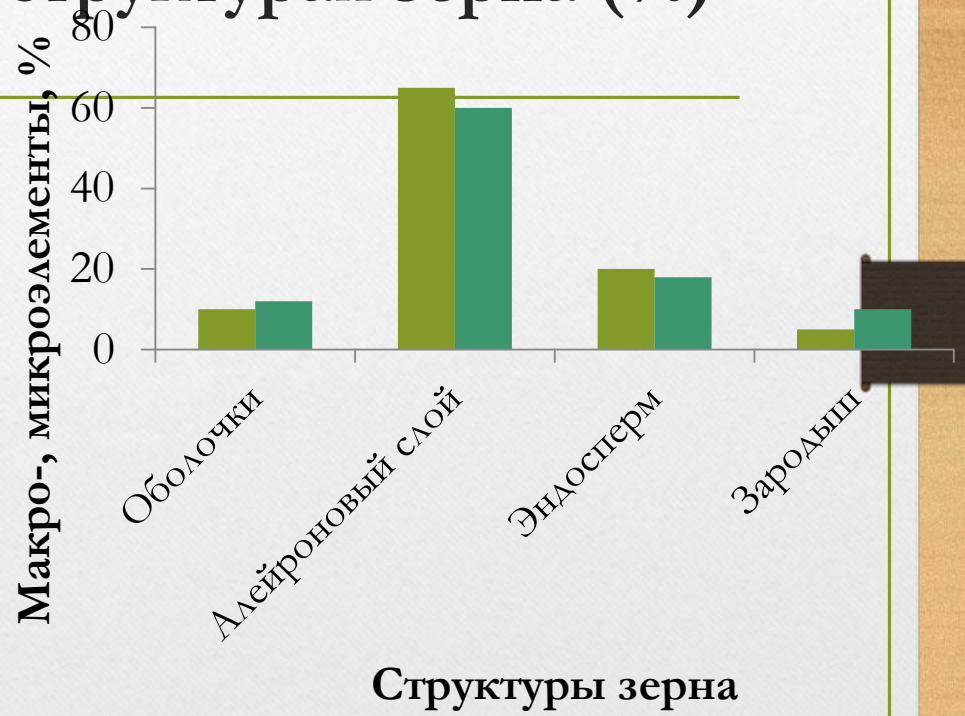
# Распределение макро- и макро- и микроэлементов в структурах зерна (%)

Основная локализация: алейроновый слой

Связывание с фитатами

Низкая биодоступность макро- и микроэлементов

Цель биообработки – высвобождение макро- и микроэлементов



# Влияние переработки на биодоступность питательных веществ

- **Помол (производство муки высшего сорта):** Удаление отрубей и зародыша значительно снижает содержание клетчатки, большинства витаминов и минералов, что уменьшает биологическую ценность продукта. **При этом усвояемость оставшихся макронутриентов (крахмал и белок эндосперма) остается высокой.**
- **Термическая обработка (клейстеризация):** Нагрев в присутствии воды (например, при варке крупы или экструзии) разрушает структуру крахмальных зерен, делая углеводы более доступными для пищеварительных ферментов.
- **Ферментация/Проращивание:** Эти процессы могут повышать пищевую ценность, активируя ферменты, которые расщепляют антинутриенты (например, фитиновую кислоту), тем самым увеличивая биодоступность минералов.
- **Обработка озоном:** Может активировать белковые структуры, повышая усвояемость аминокислот и одновременно детоксицируя зерно от плесени

# Антинутриенты в зерне и эффективных способах их нейтрализации

## Фитиновая кислота (Фитаты)

**Механизм действия:** Фитаты - основные антинутриенты, связывающие минералы (Fe Zn, Mg, Ca) в нерастворимые комплексы, что препятствует их усвоению организмом (биодоступности).

В большом количестве содержится в оболочках и семенах зерновых.

- *Нейтрализация:* Самый эффективный метод — активация природного фермента фитазы, расщепляющийфитиновую кислоту. Это достигается следующими методами:
- *Замачивание:* Замачивание цельного зерна или отрубей в воде (желательно теплой) на несколько часов или на ночь активирует фитазу и значительно снижает содержание фитатов.
- *Проращивание:* Процесс проращивания зерен еще более эффективно расщепляет фитиновую кислоту.
- *Ферментация:* Длительная ферментация, например, при выпечке хлеба на закваске.

# Заключение

- Растительное сырьё является важнейшим возобновляемым ресурсом для современной биотехнологии и биоиндустрии.
- Химический состав растительных материалов определяется содержанием целлюлозы, гемицеллюлоз, лигнина, крахмала, белков, липидов и биологически активных соединений.
- Структурная организация клеточных стенок и физико-химические свойства биополимеров определяют доступность компонентов сырья для биотехнологической переработки.
- Эффективность биообработки зависит от состава сырья, его предварительной подготовки и выбора ферментативных, микробиологических и физико-химических методов.
- Комплексное использование растительной биомассы способствует получению ценных биопродуктов, ресурсосбережению и развитию циркулярной биоэкономики.
- Основной вывод: Знание химического состава и структурной организации растительного сырья является научной основой разработки эффективных и устойчивых технологий его биообработки.

# Контрольные вопросы

1. Что понимают под биообработкой растительных материалов и каковы её основные задачи?
2. Какие виды растительного сырья используются в современной биотехнологии?
3. Какие основные химические компоненты входят в состав растительной биомассы?
4. Каковы структурные особенности целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина?
5. Какую роль играют белки, липиды, крахмал и вторичные метаболиты растительного сырья?
6. Как структурная организация клеточной стенки влияет на эффективность биообработки?
7. Какие факторы определяют доступность растительных биополимеров для ферментативного гидролиза?
8. Почему предварительная обработка растительного сырья необходима для повышения эффективности биоконверсии?
9. Как химический состав сырья влияет на выбор технологии его переработки?
10. Каково значение комплексной биообработки растительных материалов для устойчивого развития и циркулярной биоэкономики?

# Рекомендуемая литература


- **Segers B. et al. (2024). Lignocellulosic biomass valorisation: A review of feedstocks, processes and potential value chains and their implications for the decision-making process. RSC Sustainability, 2, 3730–3749. DOI: 10.1039/D4SU00342J.**
- **2. Basera P., Chakraborty S., Sharma N. (2024). Lignocellulosic biomass: Insights into enzymatic hydrolysis, influential factors, and economic viability. Discover Sustainability, 5, 311. DOI: 10.1007/s43621-024-00543-5.**
- **3. Chakraborty P. et al. (2024). Technological advancements in the pretreatment of lignocellulosic biomass for effective valorization: A review of challenges and prospects. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 137, 29–60. DOI: 10.1016/j.jiec.2024.03.025.**
- **4. Ding K. et al. (2024). Scalable lignocellulosic biorefineries: Technoeconomic review for efficient fermentable sugars production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 202, 114692. DOI: 10.1016/j.rser.2024.114692.**
- **5. Saratale R.G. et al. (2023). Green chemical and hybrid enzymatic pretreatments for lignocellulosic biorefineries: Mechanism and challenges. Bioresource Technology, 387, 129560.**