Лекция 2 — «Антипитательные факторы растительного сырья. Ферментативные технологии биообработки растительных материалов

Магистратура – Агробиотехнология

Кафедра биотехнология, КазНУ имени аль-Фараби

проф. д.б.н. Кенжебаева С.С.

1. Цель лекции

Сформировать у магистрантов системное представление о природе, классификации и механизмах действия антипитательных факторов растительного сырья, а также о принципах и современных методах ферментативной биообработки, направленных на снижение содержания антипитательных соединений, повышение биодоступности питательных веществ, улучшение функционально-технологических свойств и пищевой ценности растительных продуктов.

Ожидаемые результаты обучения

1.Классифицировать основные антипитательные факторы растительного сырья и объяснять механизмы их действия.

2.Анализировать влияние фитатов, ингибиторов протеаз, лектинов и танинов на пищевую ценность и биодоступность питательных веществ.

3.Характеризовать основные классы ферментов и механизмы их действия при биообработке растительных материалов.

4.Объяснять роль фитаз, протеаз, амилаз, целлюлаз и гемицеллюлаз в модификации растительного сырья.

5.Оценивать влияние pH, температуры и продолжительности обработки на эффективность ферментативных процессов.

6.Обосновывать выбор ферментативных технологий для снижения содержания антипитательных соединений и повышения качества растительных продуктов.

Содержание

1. **Понятие и классификация антипитательных факторов.**
2. **Фитиновая кислота и фитаты.**
3. **Лектины. Ингибиторы протеазы.**
4. **Танины**
5. **Полифенольные соединения**
6. **Белковые ингибиторы ферментов.**
7. **Способы инактивации этих веществ**
8. **Биотехнологические методы нейтрализации антипитательных факторов.**
9. **Микроорганизмы родов *Bacillus* и *Trichoderma***

Понятие и классификация антипитательных факторов.

- **Антипитательные факторы** – это природные соединения растительного происхождения, которые снижают биодоступность нутриентов, ингибируют пищеварительные ферменты или ухудшают технологические свойства сырья, которые естественным образом присутствуют во многих растительных продуктах. Они защищают растения от вредителей, но при этом снижают пищевую *ценность* еды для человека.

Таблица – Классификация антипитательных факторов растительного сырья

Группа	Основные соединения	Сырьё	Основное действие
Фосфорорганические	Фитиновая кислота	Зерно, отруби	Связывание Fe, Zn, Ca
Фенольные	Танины, флавоноиды	Оболочки, солома	Инактивация белков
Белковые ингибиторы	Ингибиторы трипсина	Зерновые, бобовые	Подавление протеаз
Полисахариды	β-глюканы, арабиноксиланы	Зерновые	Повышение вязкости

Фитиновая кислота и фитаты

Фитиновая кислота - основной антипитательной фактор зерновых культур. Она локализована преимущественно в алейроновом слое и образует нерастворимые комплексы с двух- и трёхвалентными катионами, снижая их биодоступность

Таблица 3.2 – Влияние фитатов на биодоступность микроэлементов

Макро- и микроэлемент	Степень связывания	Последствие
Fe	Высокая	Железодефицит
Zn	Высокая	Снижение иммунитета
Ca	Средняя	Нарушение минерализации
Mg	Средняя	Метаболические нарушения

Лектины. Антипитательные факторы растительного сырья

- **Механизм действия:** Лектины — это белки, которые могут взаимодействовать с рецепторами клеток кишечника и имитировать действие инсулина.
- Высокое потребление сырых лектинов может раздражать слизистую оболочку желудочно-кишечного тракта. Особенно много их в зародышах пшеницы и бобовых.
- ***Нейтрализация:*** Лектины водорастворимы и чувствительны к высоким температурам.
- ***Варка и приготовление под давлением***: Влажные методы термической обработки, такие как кипячение или приготовление в скороварке, эффективно инактивируют большинство лектинов.
- ***Замачивание и удаление кожуры:*** Предварительное замачивание и последующее удаление кожуры (там, где это возможно) также снижает их количество.

Ингибиторы протеазы

- **Механизм действия:** Эти вещества подавляют работу пищеварительных ферментов, таких как трипсин, что ухудшает расщепление и усвоение белка из пищи.
- **Нейтрализация:** Как и с лектинами, ингибиторы протеазы деактивируются под воздействием тепла.
- **Термическая обработка:** Тщательная варка и приготовление пищи при высоких температурах.

Танины

- **Механизм действия:** Танины (полифенолы с антиоксидантными свойствами) могут связываться с белками и минералами, снижая их усвоение, и в больших количествах могут раздражать ЖКТ.
- **Нейтрализация:**

1. ***Замачивание и варка:*** Эти методы помогают снизить концентрацию танинов.
2. ***Удаление внешних слоев*:** Поскольку танины часто находятся в наружных слоях зерна, их удаление при переработке (например, при производстве белой муки) эффективно нейтрализует их воздействие.

Правильный подбор методов обработки позволяет держать влияние антинутриентов под контролем и максимизировать пользу от потребления цельного зерна.

3.3 Полифенольные соединения

Полифенолы и танины способны образовывать прочные комплексы с белками и ферментами, что снижает переваримость и активность биокатализаторов.

Основные свойства полифенольных соединений

*** Связывают белки пищи в нерастворимые комплексы.**

*** Осаждают пищеварительные ферменты в ЖКТ.**

*** Снижают общую доступность аминокислот.**

*** Ухудшают всасывание железа и цинка.**

3.4 Белковые ингибиторы ферментов

Ингибиторы протеаз (трипсина и химотрипсина):

* Блокируют активные центры ферментов поджелудочной железы.

* Нарушают расщепление белков до пептидов и аминокислот.

* Вызывают компенсаторное увеличение (гипертрофию) поджелудочной железы.

* Чаще всего встречаются в бобовых (особенно в сое) и злаках.

Таблица 3.3 – Ингибиторы ферментов и методы инактивации

Ингибитор	Механизм действия	Метод нейтрализации
Ингибиторы трипсина	Блокирование активного центра	Ферментация, нагрев
Ингибиторы амилазы	Снижение гидролиза крахмала	Ферментативная обработка

Значение антипитательных факторов для биообработки (нейтрализации)

- Выбор ферментов
- Выбор микроорганизмов
- Комбинированные технологии
- Повышение эффективности процессов

Способы инактивации танинов и ингибиторов ферментов

- **Чтобы минимизировать негативное влияние танинов, относящихся к фенольной группе антипитательных факторов растительного сырья и ингибиторов ферментов на организм, используют специальные методы кулинарной обработки:**

- **1. Термическая обработка: Варка и кипячение разрушают большинство белковых ингибиторов трипсина (они термолабильны).**

- **2. Замачивание: Помогает вымыть водорастворимые танины и активирует собственные ферменты семян.**

- **3. Ферментация и проращивание: Самый эффективный способ. Процесс резко снижает уровень антинутриентов и повышает усвояемость белка.**

Биотехнологические методы нейтрализации антипитательных факторов

основаны на использовании живых организмов или продуктов их жизнедеятельности (микроорганизмов, грибов, изолированных ферментов) для направленного разрушения вредных соединений в пищевом сырье и кормах.

- В отличие от жесткой термической обработки, биотехнология позволяет сохранить незаменимые аминокислоты и витамины, точечно уничтожая только антинутриенты. [1, 3]
- Основные биотехнологические методы

А. **Экзогенная ферментация (введение чистых ферментов):**

1. **Фитазы:** Расщепляют фитиновую кислоту, высвобождая фосфор, кальций и цинк.
2. **Протеазы**: Расщепляют устойчивые белковые ингибиторы трипсина и лектины.
3. **Карбогидразы (β-глюканазы, ксиланазы):** Разрушают некрахмалистые полисахариды клеточных стенок, снижая вязкость химуса.

Биотехнологические методы нейтрализации антипитательных факторов

Б. Твердофазная и глубинная микробная ферментация:

1. **Использование заквасочных культур (молочнокислых бактерий, дрожжей, грибов рода *Aspergillus*).**
2. **В процессе жизнедеятельности микроорганизмы вырабатывают собственные гидролитические ферменты, которые переваривают танины, сапонины и глюкозинолаты.**
3. **Параллельно происходит обогащение сырья микробным белком и витаминами группы В.**

В. Индуцированное проращивание (соложение):

1. **Активирует внутренние (эндогенные) ферменты самого семени (альфа- и бета-амилазы, фитазы, протеазы).**
2. **Растение само запускает процесс распада защитных антинутриентов, чтобы открыть доступ к питательным веществам для роста зародыша.**

Г. Силосование и сенажирование (в кормопроизводстве):

1. **Консервирование растительной массы за счет естественного или направленного (внесение биопрепаратов) молочнокислого брожения.**
2. **Снижает концентрацию нитратов, синильной кислоты и алкалоидов в зеленых кормах.**

Продуценты на основе бактерий рода Bacillus

- Микроорганизмы родов **Bacillus** и **Trichoderma** являются мировыми лидерами в промышленной биотехнологии благодаря своей способности к сверхпродукции ферментов, стабильности в агрессивных средах и безопасности (многие имеют официальный статус **GRAS — абсолютно безопасных организмов).**

- Конкретные штаммы-продуценты и типы антинутриентов, которые они нейтрализуют.

- **Продуценты на основе бактерий рода Bacillus**

- Бактерии рода *Bacillus* характеризуются способностью осуществлять глубинное и твердофазное брожение белков, полностью разрушая сложные растительные защитные барьеры.

Характеристика основных штаммов *Bacillus*

***Bacillus subtilis (сенная палочка)*:**

- **Штаммы**: *B. subtilis 11B*, *B. subtilis 3H*, *B. subtilis 1719*, а также коммерческие штаммы *B. subtilis DSM 25841* и *DSM 17299*.
- **Нейтрализуют**: Продуцируют мощные **протеазы** и **амилазы**. Они расщепляют термостабильные ингибиторы трипсина и химотрипсина в соевом шроте, разрушают лектины и частично деградируют горькие полифенолы (например, синапин в рапсе).

***Bacillus amyloliquefaciens*:**

- **Штаммы**: *B. amyloliquefaciens B-1895*, *B. amyloliquefaciens DSM 9377*.
- **Нейтрализуют**: Синтезируют высокоактивные **альфа-амилазы** и **фитазы**. Фитазы расщепляют фитиновую кислоту (главный антинутриент зерновых), освобождая заблокированный фосфор, кальций и магний.

***Bacillus licheniformis*:**

- **Штаммы**: Промышленные штаммы-рекомбинанты (активно используются для крупнотоннажного получения очищенных ферментов).
- **Нейтрализуют**: Вырабатывают термостабильные **сериновые протеазы**, деактивирующие белковые антинутриенты даже при повышенных температурах кормопроизводства.

Продуценты на основе микроскопических грибов рода *Trichoderma*

Мицелиальные грибы рода *Trichoderma* — это фабрики по разрушению жестких некрахмалистых полисахаридов (клетчатки, глюканов, ксиланов), которые мешают пищеварению, создавая вязкий барьер в кишечнике.

- ***Trichoderma reesei* (ранее T. viride)**:
  - **Штаммы**: *T. reesei QM9414*, *T. reesei RUT-C30* (классические высокопродуктивные штаммы), а также современные суперактивные линии от производителей Danisco/DuPont и Novozymes.
  - **Нейтрализуют**: Главный мировой источник **целлюлаз**, **ксиланаз** и **бета-глюканаз**. Они расщепляют некрахмалистые полисахариды (целлюлозу, арабиноксиланы ржи и пшеницы, бета-глюканы ячменя и овса). Это устраняет «эффект вязкости» химуса, высвобождая запертые внутри растительных клеток белки и крахмал.
- **Trichoderma harzianum**:
  - **Штаммы**: *T. harzianum-25/П*, *T. harzianum TM*.
  - **Нейтрализуют**: Помимо целлюлаз, выделяют специфические лизирующие комплексы ферментов (например, **Glucanex** — смесь изоферментов β-1,3-глюканазы). Они способны гидролизовать олигосахариды клеточных стенок и разрушать сложные углеводно-белковые комплексы, снижающие переваримость.
- **Trichoderma longibrachiatum**:
  - **Штаммы**: *T. longibrachiatum TW-14-220T* (активно используется в кормопроизводстве).
  - **Нейтрализуют**: Продуцирует мультиферментный комплекс, разрушающий трудноусвояемую клетчатку подсолнечного и рапсового шротов, существенно повышая их питательную ценность.

Промышленные методы использования *Trichoderma* или *Bacillus*

В промышленной практике и пищевой индустрии применяются оба подхода использования *Trichoderma* или *Bacillus*, но цели и технологические процессы у них принципиально разные.

Метод внесения зависит от того, нужно ли просто добавить фермент как химическое вещество или запустить живой биологический процесс.

- **Ниже подробно разобраны оба варианта.**

1. Очищенные высушенные препараты (Энзимы) — Основной промышленный метод

Это самый массовый, стандартизированный и экономически эффективный способ, особенно в кормопроизводстве (для птицеводства и свиноводства) и пищевой промышленности (хлебопечение, пивоварение).

Микроорганизмы (*Trichoderma* или *Bacillus*) выращивают на биофабриках в огромных ферментерах. Когда они выделяют максимальное количество нужного фермента в окружающую среду, биомассу самих микроорганизмов полностью отделяют и уничтожают.

Оставшийся раствор фермента очищают, концентрируют и высушивают. На выходе получается сухой порошок, гранулы или жидкий концентрат, не содержащий живых клеток.

Методы добавления *Trichoderma* или *Bacillus*

Сухие формы: Вносятся в сухие комбикорма через узлы микродозирования на этапе смешивания ингредиентов (вместе с витаминами и премиксами).

Жидкие формы: Напыляются на готовые гранулы комбикорма *после* этапа гранулирования (методом Post-Pelleting Liquid Application — PPLA). Это критически важно, так как высокая температура гранулятора (выше 80–85°C) может денатурировать (разрушить) белковые энзимы.

В пищевой промышленности: Добавляются непосредственно в муку (ксиланазы, амилазы) или сусло при производстве напитков.

Плюсы: Точная дозировка, мгновенное действие в желудке животного, отсутствие риска неконтролируемого микробного роста при хранении корма.

Методы добавления *Trichoderma* или *Bacillus*

- **2 способ. Прямое внесение в корма:** Споровые пробиотики подмешивают в сухой корм. Попадая в ЖКТ животного, споры «просыпаются», превращаются в вегетативные клетки и начинают активно синтезировать ферменты (протеазы, амилазы) прямо внутри организма, одновременно подавляя патогенную микрофлору.
- **Твердофазная ферментация сырья (предварительная обработка):** Живую культуру бактерий или грибов вносят в увлажненное растительное сырье (например, соевый шрот) за несколько суток до скармливания. Микроорганизмы размножаются в чанах, ферментируют субстрат, разрушают антинутриенты на месте, а затем этот обогащенный продукт высушивается или скармливается в жидком виде.
- **Заготовка силоса и сенажа:** Закваски с живыми бактериями распыляют на измельченную зеленую массу прямо в поле или при закладке в силосные траншеи для направленного брожения.

Живые пробиотики (Введение живых культур в субстрат)

- **Этот метод чаще применяется для жвачных животных (крупный рогатый скот), в ветеринарии, при силосовании, а также в производстве функциональных продуктов питания для человека.**
- **Используются живые высушенные клетки (споры бактерий рода *Bacillus* или высушенный мицелий/споры грибов). Бактерии *Bacillus* идеально подходят для этого, так как формируют эндоспоры — ультраустойчивые капсулы, которые легко переносят высокие температуры, давление при гранулировании корма и кислую среду желудка.**
- **Добавляют:**

✓ **Прямое внесение в корма: Споровые пробиотики подмешивают в сухой корм. Попадая в ЖКТ животного, споры «просыпаются», превращаются в вегетативные клетки и начинают активно синтезировать ферменты (протеазы, амилазы) прямо внутри организма, одновременно подавляя патогенную микрофлору.**

✓ **Твердофазная ферментация сырья (предварительная обработка): Живую культуру бактерий или грибов вносят в увлажненное растительное сырье (например, соевый шрот) за несколько суток до скармливания. Микроорганизмы размножаются в чанах, ферментируют субстрат, разрушают антинутриенты на месте, а затем этот обогащенный продукт высушивается или скармливается в жидком виде.**

✓ **Заготовка силоса и сенажа: Закваски с живыми бактериями распыляют на измельченную зеленую массу прямо в поле или при закладке в силосные траншеи для направленного брожения.**

Сравнительная таблица применения продуцентов

Критерий	Очищенные препараты (Энзимы)	Живые пробиотики / Закваски
Что внутри?	Чистый белок-фермент (нет живых клеток)	Живые клетки или устойчивые споры
Где начинают работать?	Сразу при попадании влаги в ЖКТ (в зобу или желудке)	После активации и размножения в ЖКТ или в процессе ферментации субстрата
Термостабильность	Чувствительны к нагреву (требуют защитных оболочек или напыления после остывания корма)	Споры *Bacillus* выдерживают нагрев до 90–95° С без потери активности
Главный фокус действия	Быстрое разрушение антинутриентов и вязких полисахаридов пищи	Нормализация микрофлоры кишечника + постепенное выделение ферментов

2. Ферменты и их роль в биотехнологических процессах



Enzyme

Ферментативная обработка растительных материалов строится на взаимодействии двух ключевых технологических источников: **субстратов** и **продуцентов ферментов**.

Ферменты — это биологически активные вещества белковых соединений,, которые выполняют функцию катализаторов в живых организмах.

Каталитическая активность — это способность фермента ускорять химическую реакцию. Некоторые реакции могут происходить в миллионы раз быстрее при наличии ферментов.

Важной особенностью ферментов является то, что они не расходуются в процессе реакции и могут использоваться многократно.

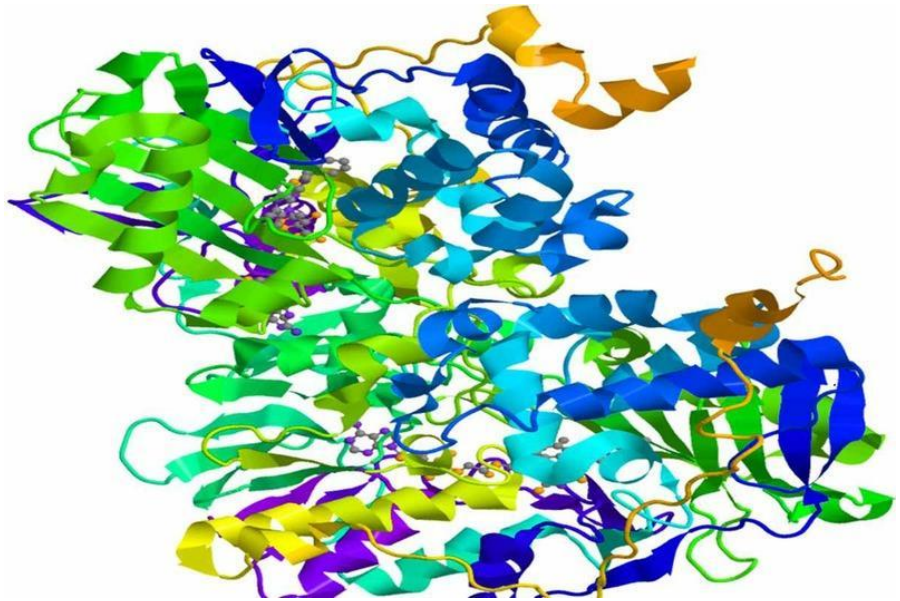
Биологическая природа ферментов определяется их белковой структурой. Как и другие белки, ферменты чувствительны к условиям окружающей среды, таким как температура, кислотность среды и наличие ингибиторов. При отклонении от оптимальных условий активность ферментов может снижаться или полностью прекращаться.

Одним из ключевых свойств ферментов является их высокая специфичность. Это означает, что каждый фермент действует строго на определённый субстрат. Например, амилазы расщепляют крахмал, протеазы — белки, а фитазы — фитиновую кислоту. Благодаря этой специфичности ферментативные процессы являются управляемыми и предсказуемыми.

В ферментативной биообработке растительных материалов ферменты способны разрушать сложные биополимеры, такие как крахмал, целлюлоза, белки и фитаты. В результате этих процессов трудноусвояемые соединения переходят в более простые и доступные формы.

2. Основные группы ферментов, используемые в Биообработке. 2.1. Классификация ферментов

Ферменты, применяемые в биообработке растительных материалов, в основном относятся к классу гидролаз.

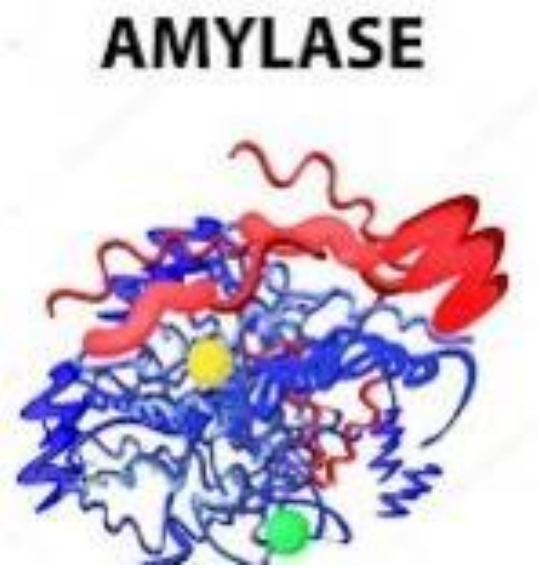


В технологиях биообработки растительного сырья наибольшее значение имеют ферменты класса гидролаз. Эти ферменты катализируют реакции гидролиза, то есть расщепления сложных органических соединений с участием воды.

Растительное сырьё в основном состоит из высокомолекулярных биополимеров — крахмала, целлюлозы, белков, фитатов и гемицеллюлоз. В исходном виде многие из этих соединений трудно усваиваются организмом человека и животных. Задача ферментов — разрушить эти сложные структуры до более простых и биодоступных форм.

Амилазы

Амилазы — ферменты, расщепляющие крахмал до декстринов, мальтозы и глюкозы.



01

Амилазы относятся к группе гидролитических ферментов и играют ключевую роль в биообработке зерновых культур, поскольку основным компонентом зерна является крахмал. В зерне пшеницы содержание крахмала может достигать 60–70 %, что делает его главным источником энергии.

Крахмал представляет собой сложный полисахарид, состоящий из двух фракций — амилозы и амилопектина. Эти соединения имеют высокую молекулярную массу и в исходном виде усваиваются организмом не полностью, особенно у животных с ограниченной ферментативной активностью.

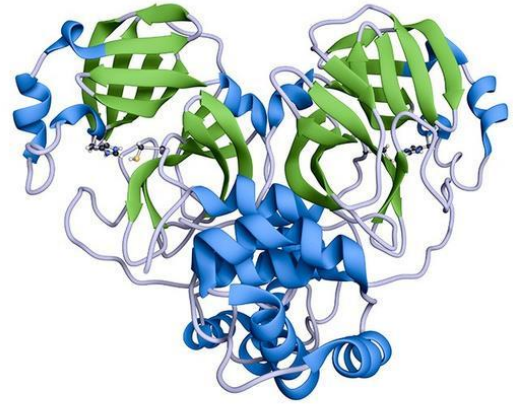
02

Под действием амилаз происходит гидролиз крахмала. На первом этапе молекулы крахмала расщепляются до декстринов, затем до дисахаридов, таких как мальтоза, и в конечном итоге — до глюкозы. Эти соединения значительно легче усваиваются и могут быть непосредственно использованы в обмене веществ.

В результате ферментативной обработки с использованием амилаз повышается энергетическая доступность зерна, что особенно важно при производстве кормов, так как позволяет более эффективно использовать питательные вещества и снизить их потери.

Кроме того, разрушение крахмальной матрицы облегчает доступ других ферментов, например протеаз и фитаз, к белкам и фитиновым соединениям, находящимся внутри зерновых клеток

Протеазы



Протеазы — это ферменты, катализирующие гидролиз белков до пептидов и свободных аминокислот.

Протеазы представляют собой группу ферментов, основной функцией которых является расщепление белков. Белки растительного происхождения, особенно содержащиеся в зерновых и бобовых культурах, часто находятся в труднодоступной форме. Это связано с тем, что они могут быть заключены внутри клеточных структур или связаны с другими компонентами растительной клетки, такими как полисахариды и антипитательные вещества.

В процессе ферментативной биообработки протеазы катализируют гидролиз белковых молекул, то есть разрыв пептидных связей между аминокислотами. В результате крупные белковые молекулы распадаются сначала на более короткие пептиды, а затем на свободные аминокислоты.

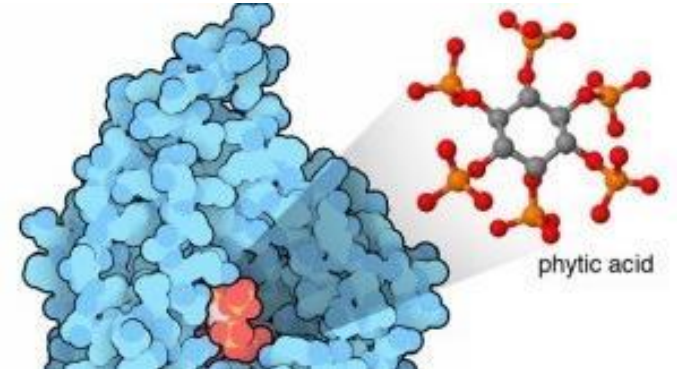
Эти продукты гидролиза значительно легче усваиваются организмом человека и животных, поскольку не требуют дополнительного расщепления в пищеварительной системе. Таким образом, применение протеаз напрямую способствует повышению пищевой и кормовой ценности растительного сырья.

Фитазы

Фитазы — это ферменты, катализирующие гидролиз фитиновой кислоты, в результате чего высвобождаются связанные микроэлементы и фосфор.

Результаты действия фитаз:

- снижение содержания фитиновой кислоты;
- повышение биодоступности Fe, Zn, Ca;
- улучшение усвояемости фосфора.



Фитиновая кислота является основной формой накопления фосфора в зерновых культурах, в том числе в зерне пшеницы. Она локализуется преимущественно в оболочках зерна и в алейроновом слое. Несмотря на то, что фитиновая кислота содержит значительное количество фосфора, в исходном виде она плохо усваивается организмом человека и животных.

Основная проблема фитиновой кислоты заключается в её способности образовывать прочные, труднорастворимые комплексы с микроэлементами, такими как железо, цинк, кальций и магний. В результате этих взаимодействий микроэлементы переходят в связанную форму и становятся недоступными для усвоения в желудочно-кишечном тракте. По этой причине фитиновую кислоту относят к антипитательным факторам растительного сырья.

Фитазы представляют собой ферменты, которые катализируют поэтапный гидролиз фитиновой кислоты. В ходе этого процесса происходит последовательное отщепление фосфатных групп, что приводит к разрушению фитатных комплексов. В результате микроэлементы высвобождаются и переходят в биодоступную, усваиваемую форму.

3. Ферментативные технологии переработки растительного сырья

Ферментативные технологии переработки растительного сырья - последовательность технологических операций, направленных на целенаправленное изменение структуры и химического состава растительных материалов с использованием ферментов.

3.1. Подготовка сырья

Подготовка сырья является одним из ключевых этапов ферментативной биообработки, поскольку от её качества напрямую зависит эффективность действия ферментов. Растительное сырьё, в частности зерновые культуры, перед биообработкой должно быть тщательно очищено от механических примесей, таких как пыль, камни, остатки соломы и повреждённые зерна.

Следующим этапом подготовки является измельчение или дробление сырья.

Цель измельчения заключается в увеличении площади поверхности материала, что облегчает контакт ферментов с субстратом. Чем больше площадь контакта, тем эффективнее протекает ферментативная реакция.

После измельчения проводится увлажнение сырья. Вода необходима для протекания ферментативных реакций, поскольку гидролитические ферменты действуют в водной среде. Недостаточное увлажнение приводит к снижению активности ферментов, а избыточное — может затруднить технологический процесс.





Заключение

Антипитательные факторы растительного сырья, включая фитаты, ингибиторы протеаз, лектины, танины и оксалаты, могут ограничивать усвоение питательных веществ и влиять на качество пищевых продуктов.

Ферментативная биообработка обеспечивает селективное преобразование компонентов растительного сырья в относительно мягких технологических условиях.

Фитазы, протеазы, амилазы, целлюлазы, гемицеллюлазы и другие ферменты способствуют гидролизу соответствующих субстратов, улучшению технологических характеристик и, в определённых условиях, снижению антипитательной активности.

Эффективность ферментативных процессов определяется специфичностью ферментов, температурой, pH, продолжительностью обработки и особенностями сырья.

Интеграция ферментативных технологий с ферментацией и другими методами предварительной обработки расширяет возможности получения безопасных, питательных и функциональных растительных продуктов.

Основной вывод: Ферментативные технологии являются важным инструментом целенаправленной модификации растительного сырья, снижения отдельных антипитательных факторов и повышения эффективности его комплексной переработки.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой антипитательные факторы растительного сырья и как они классифицируются?
2. Как фитиновая кислота влияет на биодоступность железа, цинка и других минеральных элементов?
3. Каковы механизмы действия ингибиторов протеаз, лектинов и танинов?
4. Какие методы применяются для снижения содержания антипитательных соединений в растительном сырье?
5. В чём заключаются основные преимущества ферментативной биообработки?
6. Какие классы ферментов используются при переработке растительных материалов?
7. Какова роль фитаз в повышении биодоступности минеральных элементов?
8. Как протеазы, амилазы, целлюлазы и гемицеллюлазы изменяют свойства растительного сырья?
9. Какие факторы определяют активность и эффективность промышленных ферментов?
10. Каковы перспективы применения ферментативных технологий для производства функциональных пищевых продуктов?

Рекомендуемая литература (2023–2025)

- 1. Yılmaz Tuncel N., Polat Kaya H., Andaç A.E., Korkmaz F., Tuncel N.B. (2025). A comprehensive review of antinutrients in plant-based foods and their key ingredients. Nutrition Bulletin, 50, 171–205. DOI: 10.1111/nbu.12732.
- Wiley Online Library
- 2. Li B., Zhou Y., Wen L., Yang B., Farag M.A., Jiang Y. (2024). The occurrence, role, and management strategies for phytic acid in foods. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 23, e13416. DOI: 10.1111/1541-4337.13416.
- 3. Arsov A. (2024). Bacterial degradation of antinutrients in foods: The genomic insight. Foods, 13, 2408. DOI: 10.3390/foods13152408.
- 4. Faizal F.I., Ahmad N.H., Yaacob J.S., Abdul Halim-Lim S., Abd Rahim M.H. (2023). Food processing to reduce antinutrients in plant-based foods. International Food Research Journal, 30, 25–45. DOI: 10.47836/ifrj.30.1.02.
- openurl.ebsco.com
- 5. Sareen B., Pudake R.N., Sevanthi A.M., Solanke A.U. (2024). Biotechnological approaches to reduce the phytic acid content in millets to improve nutritional quality. Planta, 260, 99. DOI: 10.1007/s00425-024-04525-9.
- 6. Pragya, Kumar P., Singh D., Tiwari S.K., Chouayekh H., Singh B. (2025). Phytic acid: Biosynthesis, functional attributes and conventional vis-a-vis modern approaches for reduction. Food Bioscience, 107204. DOI: 10.1016/j.fbio.2025.107204

Интернет Источники

- https://elar.urfu.ru
- [2] https://www.sciencedirect.com
- [3] https://www.immunopathology.com
- [4] https://www.researchgate.net
- [5] https://www.frontiersin.org
- [6] https://patents.google.com
- [7] https://www.researchgate.net
- [8] https://kpfu.ru
- [9] https://www.sigmaaldrich.com

Контрольные вопросы к лекции 3

- - **Что такое антипитательные факторы растительного материала ?**
- **- Почему фитиновая кислота считается ключевым антинутриентом?**
- **- Как полифенолы влияют на усвояемость белков?**
- **- Какие методы используются для инактивации ингибиторов протеаз?**
- **Характеристика основных штаммов Bacillus и Продуценты на основе микроскопических грибов рода *Trichoderma***
- **Методы добавления *Trichoderma* или *Bacillus***
- **Практическое задание**
- **Разработать схему биообработки зерна пшеницы, направленную на снижение содержания фитатов и ингибиторов протеаз.**