Лекция 8 —Интегрированные технологии и биорефинерия. Биотрансформация растительными клетками и для достижения ЦУР 2 «Ликвидация голода»



Кафедра биотехнологии, КазНУ имени аль-Фараби
проф. д.б.н. Кенжебаева С.С.

Цель лекции. Результаты обучения

- **Цель лекции.** Сформировать у магистрантов системное представление об интегрированных биотехнологических процессах, концепции биорефинерии и возможностях использования растительных клеток и культур тканей для получения пищевых, кормовых и биологически активных продуктов, способствующих повышению продовольственной безопасности и достижению Цели устойчивого развития 2 «Ликвидация голода».
- **Результаты обучения**

1. объяснять сущность интегрированных биотехнологий и концепции биорефинерии;
2. характеризовать основные этапы комплексной переработки растительного сырья;
3. различать биоконверсию, биотрансформацию и клеточную биотехнологию растений;
4. объяснять механизмы биотрансформации веществ растительными клетками;
5. характеризовать основные типы культур растительных клеток и тканей;
6. выбирать растительные клеточные системы для получения целевых метаболитов;
7. оценивать возможности клеточных технологий для повышения пищевой и биологической ценности растительного сырья;
8. анализировать роль биорефинерии в комплексном использовании сельскохозяйственной биомассы;
9. устанавливать связь между биотехнологической переработкой растений, сокращением пищевых потерь и продовольственной безопасностью;
10. обосновывать вклад растительной биотехнологии в достижение ЦУР 2 «Ликвидация голода»;
11. оценивать экологические, экономические и социальные преимущества интегрированных технологий;
12. предлагать технологические схемы получения пищевых ингредиентов, биоактивных соединений, кормов, биоматериалов и энергии из растительного сырья.

Содржание лекции

1. Введение. Актуальность интегрированных технологий.
2. Понятие и принципы биорефинерии.
3. Платформы растительной биорефинерии.
4. Каскадная переработка биомассы.
5. Понятие биотрансформации растительными клетками.
6. Основные клеточные системы.
7. Биохимические реакции биотрансформации.
8. Получение вторичных метаболитов.
9. Методы повышения продуктивности клеток.
10. Растительные клеточные биореакторы.
11. Интеграция клеточных технологий в биорефинерию.
12. ЦУР 2 «Ликвидация голода».
13. Биофортификация и повышение пищевой ценности.
14. Снижение пищевых потерь и использование отходов.
15. Инновационные технологии.
16. Преимущества и ограничения.
17. Заключительная интегральная схема.
18. Контрольные вопросы и литература. Практические задания

Актуальность интегрированных биотехнологий переработки растительного сырья

Интегрированные биотехнологии объединяют ферментативные, микробиологические, клеточные и физико-химические методы для комплексной переработки растительного сырья и получения ценных биопродуктов.

1. Глобальные вызовы продовольственной безопасности

Рост потребности в качественных и питательных пищевых продуктах.

Влияние изменения климата, засухи и деградации почв на устойчивость сельскохозяйственного производства.

2. Повышение эффективности использования растительных ресурсов

Комплексная переработка зерновых культур и побочных продуктов АПК.

Сокращение потерь сырья и вовлечение растительных остатков в биопроизводство.

3. Улучшение пищевой и питательной ценности

Применение ферментативных и микробных технологий для повышения доступности питательных веществ.

Получение функциональных ингредиентов, белковых гидролизатов и биоактивных соединений.

4. Развитие устойчивых биотехнологических производств

Интеграция биокатализа, микробной ферментации и растительных клеточных технологий.

Использование принципов биорефинерии и циркулярной биоэкономики.

5. Вклад в достижение ЦУР 2 «Ликвидация голода»

Повышение доступности питательных пищевых продуктов.

Снижение потерь продовольственного сырья.

Поддержка устойчивых продовольственных систем и рационального использования ресурсов.

1. Глобальные вызовы продовольственной безопасности

Рост потребности в качественных и питательных пищевых продуктах.

Влияние изменения климата, засухи и деградации почв на устойчивость сельскохозяйственного производства.

2. Повышение эффективности использования растительных ресурсов

Комплексная переработка зерновых культур и побочных продуктов АПК.

Сокращение потерь сырья и вовлечение растительных остатков в биопроизводство.

3. Улучшение пищевой и питательной ценности

Применение ферментативных и микробных технологий для повышения доступности питательных веществ.

Получение функциональных ингредиентов, белковых гидролизатов и биоактивных соединений.

4. Развитие устойчивых биотехнологических производств

Интеграция биокатализа, микробной ферментации и растительных клеточных технологий.

Использование принципов биорефинерии и циркулярной биоэкономики.

5. Вклад в достижение ЦУР 2 «Ликвидация голода»

Повышение доступности питательных пищевых продуктов.

Снижение потерь продовольственного сырья.

Поддержка устойчивых продовольственных систем и рационального использования ресурсов.

Основной вывод: Интегрированные биотехнологии способствуют повышению эффективности переработки растительного сырья, улучшению питательной ценности продукции и развитию устойчивых продовольственных систем, поддерживая достижение ЦУР 2.

Основные причины развития интегрированных технологий

1. **Рост потребности в пищевых продуктах и кормах.**
   Увеличение численности населения сопровождается ростом спроса на доступные источники белка, энергии, витаминов и минеральных элементов.
2. **Ограниченность природных ресурсов.**
   Земельные, водные и энергетические ресурсы ограничены, поэтому необходимо повышать эффективность использования уже произведённой биомассы.
3. **Значительные пищевые потери и образование отходов.**
   Часть сельскохозяйственного сырья теряется при уборке, хранении, транспортировке и переработке.
4. **Необходимость получения продуктов с высокой добавленной стоимостью.**
   Из растительного сырья можно получать не только пищевые продукты, но и ферменты, антиоксиданты, органические кислоты, биополимеры, кормовой белок и биотопливо.
5. **Экологические требования.**
   Современные производства должны снижать расход воды и энергии, объём отходов, углеродный след и применение агрессивных химических реагентов.

- **Интегрированная биотехнология обеспечивает максимальное извлечение пищевой, биологической, материальной и энергетической ценности из растительного сырья.**

1.2. Переход от линейной переработки к циркулярной биоэкономике

Линейная модель

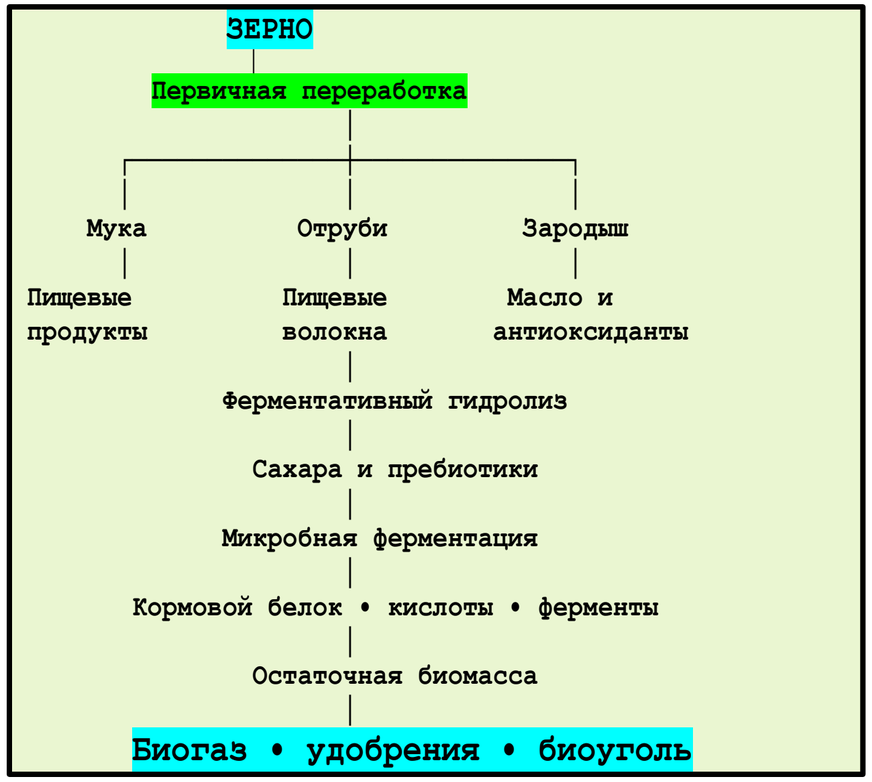
- Традиционная линейная модель основана на принципе:
- **Сырьё → производство → основной продукт → отход**
- При таком подходе значительная часть компонентов растительной биомассы утрачивается. Побочные продукты могут направляться на захоронение или сжигание, что приводит к дополнительным затратам и экологической нагрузке.
- **Пример линейной переработки зерна:**
- Зерно
- |
- Помол
- |
- Мука
- |
- Хлебобулочные изделия
- Отруби и другие остатки → малоценное использование или отход

Циркулярная модель

- Циркулярная биоэкономика основана на многократном и каскадном использовании биологических ресурсов:
- **Сырьё → продукт → побочный поток → новое сырьё → новый продукт**
- В такой системе:

- ценные компоненты последовательно извлекаются из биомассы;
- побочные продукты возвращаются в производственный цикл;
- органические остатки перерабатываются в корма, удобрения, биогаз или биоуголь;
- вода и энергия по возможности используются повторно;
- объём конечных отходов сводится к минимуму.

Пример циркулярного использования зернового сырья



Таким образом, циркулярная биоэкономика направлена не только на утилизацию отходов, но и на **предотвращение их образования** за счёт правильного проектирования всей технологической цепочки.

Интегрированные технологии и биорефинерия

Понятие интегрированных технологий - объединение физических, химических, ферментативных и микробиологических процессов;

- последовательная и параллельная переработка сырья;
- каскадное использование компонентов биомассы;
- принципы малоотходного и безотходного производства.

Биорефинерия — это комплексная система переработки биомассы, в которой из одного растительного сырья получают несколько видов продукции: пищевые и кормовые ингредиенты, химические вещества, материалы, топливо и энергию.

По своему принципу биорефинерия аналогична нефтеперерабатывающему комплексу, однако использует возобновляемое биологическое сырьё.

Основные этапы биорефинерии

1. **Подготовка сырья**
   Сортировка, измельчение, сушка и удаление примесей.
2. **Фракционирование**
   Разделение биомассы на целлюлозу, гемицеллюлозу, лигнин, белки и экстрактивные соединения.
3. **Биологическая конверсия**
   Ферментативный гидролиз и микробная ферментация.
4. **Выделение целевых продуктов**
   Сахара, органические кислоты, ферменты, биополимеры и биоактивные соединения.
5. **Использование остаточных потоков**
   Получение биогаза, биоугля, удобрений, тепла и электроэнергии.

Комплексное использование растительного сырья

- **Комплексное использование растительного сырья** — это последовательное или параллельное выделение и преобразование всех основных компонентов биомассы с получением максимально возможного числа полезных продуктов.
- Растительное сырьё представляет собой сложную многокомпонентную систему, содержащую:

- углеводы;
- белки;
- липиды;
- пищевые волокна;
- витамины;
- минеральные элементы;
- фенольные соединения;
- пигменты;
- ароматические вещества;
- целлюлозу, гемицеллюлозу и лигнин.

- При комплексной переработке каждый компонент направляется в наиболее рациональный технологический поток.

Компонент сырья
Возможное направление использования

Компонент сырья	Возможное направление использования
Крахмал и растворимые сахара	Пищевые продукты, органические кислоты, биоэтанол
Белки	**Белковые концентраты, гидролизаты, биоактивные пептиды**
Липиды	Пищевые масла, фитостерины, биодизель
Пищевые волокна	Функциональные ингредиенты и пребиотики
Фенольные соединения	Антиоксиданты и нутрицевтики
Целлюлоза	Глюкоза, биополимеры, nanocellulose
Гемицеллюлоза	Ксилоза, ксилоолигосахариды, платформенные химические вещества
Лигнин	Ароматические соединения, сорбенты, биоматериалы, энергия
Минеральные вещества	Кормовые добавки и органо-минеральные удобрения

Компонент сырья Возможное направление использования

Основные принципы комплексного использования

- **каскадность** — сначала получают наиболее ценные продукты, затем менее ценные;
- **многопродуктовость** — из одного сырья получают несколько категорий продукции;
- **безопасность** — пищевые фракции должны быть отделены до применения жёстких реагентов;
- **ресурсосбережение** — сокращаются затраты воды, энергии и сырья;
- **замкнутость потоков** — остатки одного процесса используются в другом;
- **экономическая целесообразность** — продукты высокой стоимости компенсируют затраты на переработку.

Пример каскадной переработки растительного сырья

Растительное сырьё

↓

1. Выделение пищевых компонентов
белки • масла • витамины • антиоксиданты

↓

2. Получение функциональных ингредиентов
пищевые волокна • пептиды • пребиотики

↓

3. Ферментативная и микробная конверсия
сахара • кислоты • ферменты • биополимеры

↓

4. Энергетическое использование остатков
биогаз • тепло • биоуголь

↓

5. Возврат питательных веществ
органические удобрения

4. Основные платформы биорефинерии. 5. Биотрансформация растительными клетками

Основные платформы биорефинерии

- сахарная платформа;
- крахмальная платформа;
- лигноцеллюлозная платформа;
- белковая платформа;
- липидная платформа;
- платформа растительных метаболитов.

Биотрансформация растительными клетками

- определение биотрансформации;
  отличие биотрансформации от биосинтеза и ферментации;
- преобразование экзогенных соединений растительными клетками;
- основные типы реакций:
  - гидроксилирование;
  - гликозилирование;
  - метилирование;
  - окисление;
  - восстановление;
  - дегликозилирование.

Связь биотехнологии с глобальной продовольственной безопасностью

- **Продовольственная безопасность** предполагает устойчивую доступность достаточного количества безопасных и питательных пищевых продуктов для населения. Биотехнология способствует её обеспечению на нескольких уровнях.
- **1. Повышение продуктивности сельскохозяйственных культур**
- ***Клеточная селекция, геномные технологии, индуцированный мутагенез и редактирование генов позволяют создавать растения:***

- ***устойчивые к засухе, засолению и высоким температурам;***
- ***устойчивые к болезням и вредителям;***
- ***способные эффективно использовать воду и минеральные элементы;***
- ***сохраняющие урожайность в неблагоприятных условиях.***

- **2. Повышение пищевой ценности**
- **Биофортификация позволяет увеличивать содержание:**

- ***железа;***
- ***цинка;***
- ***селена;***
- ***провитамина А;***
- ***витаминов;***
- ***незаменимых аминокислот; белка.***
- Для зерновых культур особенно актуально одновременное повышение содержания Fe и Zn и снижение концентрации фитиновой кислоты, которая ограничивает биодоступность минеральных элементов.

Основы биотрансформации

- **Биотрансформация —** это процесс химического преобразования веществ с участием живых организмов или их клеток, в том числе растительных, с образованием новых соединений.

- Растительные клетки способны осуществлять сложные биохимические реакции благодаря наличию ферментов**.** Они работают мягко (при нормальных температурах и pH), обладают высокой специфичностью и могут синтезировать ценные вещества.

Основные механизмы биотрансформации:

- Окисление — потеря электронов веществом (например, превращение спиртов в кислоты).
- Восстановление — присоединение электронов (например, превращение кетонов в спирты).
- Гидролиз — расщепление соединений с участием воды.
- Конъюгация — соединение молекул с другими веществами для повышения растворимости или активности.



Культуры растительных клеток и тканей. Получение ценных продуктов с использованием растительных клеток

- каллусные культуры;
- суспензионные культуры;
- культуры органов;
- культуры корней;
- hairy roots;
- протопласты;
- временно погружные системы;
- растительные клеточные биореакторы.

- вторичные метаболиты;
- антиоксиданты;
- фенольные соединения;
- флавоноиды;
- алкалоиды;
- терпеноиды;
- пигменты;
- витамины;
- функциональные пищевые ингредиенты;
- рекомбинантные белки.

Методы повышения продуктивности клеточных культур

- оптимизация питательной среды;
- элиситация;
- иммобилизация клеток;
- селекция высокопродуктивных линий;
- использование предшественников;
- метаболическая инженерия;
- синтетическая биология;
- CRISPR/Cas-редактирование;
- контроль освещения, pH и аэрации.

Интеграция клеточных технологий в биорефинерию

- использование клеточных культур для глубокой переработки растительных фракций;
- получение высокоценных продуктов до энергетической переработки остатков;
- сочетание экстракции, ферментативного гидролиза и клеточной биотрансформации;
- использование остаточной биомассы для биогаза, удобрений и биоугля.

10. Биотехнологии и достижение ЦУР 2 «Ликвидация голода»

- ***повышение урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур; (***устойчивые к засухе, засолению и высоким температурам; устойчивые к болезням и вредителям; способные эффективно использовать воду и минеральные элементы; сохраняющие урожайность в неблагоприятных условиях.
- ***улучшение пищевой ценности продукции и биофортификация макро- и особенно микроэлементами Fe, Zn, витаминами и белком;***
- ***ние антипитательных факторов; (***фитатов; ингибиторов протеаз; некоторых полифенолов; неперевариваемых олигосахаридов; отдельных токсичных или горьких компонентов.
- ***повышение биодоступности минеральных элементов;***
- ***сокращение послеуборочных потерь; (***продлевать срок хранения продукции; перерабатывать некондиционное сырьёстабилизировать скоропортящиеся растительные продуктыиспользовать побочные продукты пищевой промышленности; создавать новые пищевые и кормовые ингредиенты.
- ***переработка побочных продуктов в пищевые и кормовые ингредиенты;***
- ***создание доступных функциональных продуктов. (***микробного белка; кормовой биомассы; белковых гидролизатов; рекомбинантных пищевых белков; функциональных белковых ингредиентов.
- **Поддержка устойчивого сельского хозяйства (**биоудобрений; биостимуляторов; биопестицидов; микробных препаратов; органических почвенных мелиорантов.

Интегрированные биотехнологии и биорефинерия содействуют достижению ЦУР 2 по четырём направлениям:

Направление ЦУР 2	Вклад биотехнологии
Доступность продовольствия	Повышение урожайности и сокращение потерь
Качество питания	Биофортификация и функциональные продукты
Устойчивость сельского хозяйства	Стрессоустойчивые культуры, биоудобрения и биозащита
Эффективность ресурсов	Комплексная переработка биомассы и циркулярные технологии

Биотрансформация и достижение ЦУР 2

1. **Увеличение урожайности сельскохозяйственных культур**
Биотрансформация способствует созданию растений с улучшенными свойствами (устойчивость к засухе, вредителям и болезням), что повышает урожайность и стабильность производства.

2. **Снижение потерь продукции**
Благодаря биотехнологическим процессам можно увеличить срок хранения продуктов и устойчивость растений к неблагоприятным условиям, что снижает потери при хранении и транспортировке.

3. **Создание устойчивых продовольственных систем**
Использование биотрансформации позволяет уменьшить зависимость от химических удобрений и пестицидов, делая сельское хозяйство более экологичным и устойчивым.

4. **Повышение качества питания**
С помощью биотрансформации можно обогащать продукты полезными веществами (витаминами, антиоксидантами), улучшая их питательную ценность.

5. **Вклад в борьбу с глобальным голодом**
Все перечисленные направления способствуют достижению целей Организация Объединённых Наций по ЦУР 2 — обеспечению продовольственной безопасности и снижению уровня голода в мире.

11. Роль биорефинерии в продовольственной безопасности

- комплексное использование урожая;
- превращение отходов в вторичные пищевые ресурсы;
- производство кормового белка;
- получение биологических удобрений;
- снижение зависимости от невозобновляемого сырья;
- развитие локальных агробиотехнологических производств.

13. Экологические, экономические и социальные аспект биотрансформации растительными клетками

- *снижение количества отходов;*
- *уменьшение углеродного следа;*
- *рациональное использование воды и энергии;*
- *создание продукции с высокой добавленной стоимостью;*
- *развитие сельских территорий;*
- *создание новых рабочих мест;*
- *доступность безопасных пищевых продуктов.*

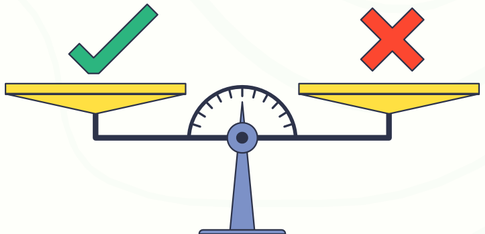
Преимущества и ограничения

Преимущества:

- Экологичность — процессы проходят в мягких условиях и уменьшают загрязнение окружающей среды
- Высокая специфичность процессов — точечное преобразование веществ без побочных продуктов
- Снижение использования химикатов — уменьшается потребность в агрессивных реагентах и пестицидах

Ограничения:

- Высокая стоимость технологий — оборудование и разработка требуют значительных затрат
- Необходимость лабораторной базы — нужны специализированные условия и квалифицированный персонал
- Этические и регуляторные вопросы — использование биотехнологий (особенно ГМО) регулируется законодательством и вызывает общественные дискуссии

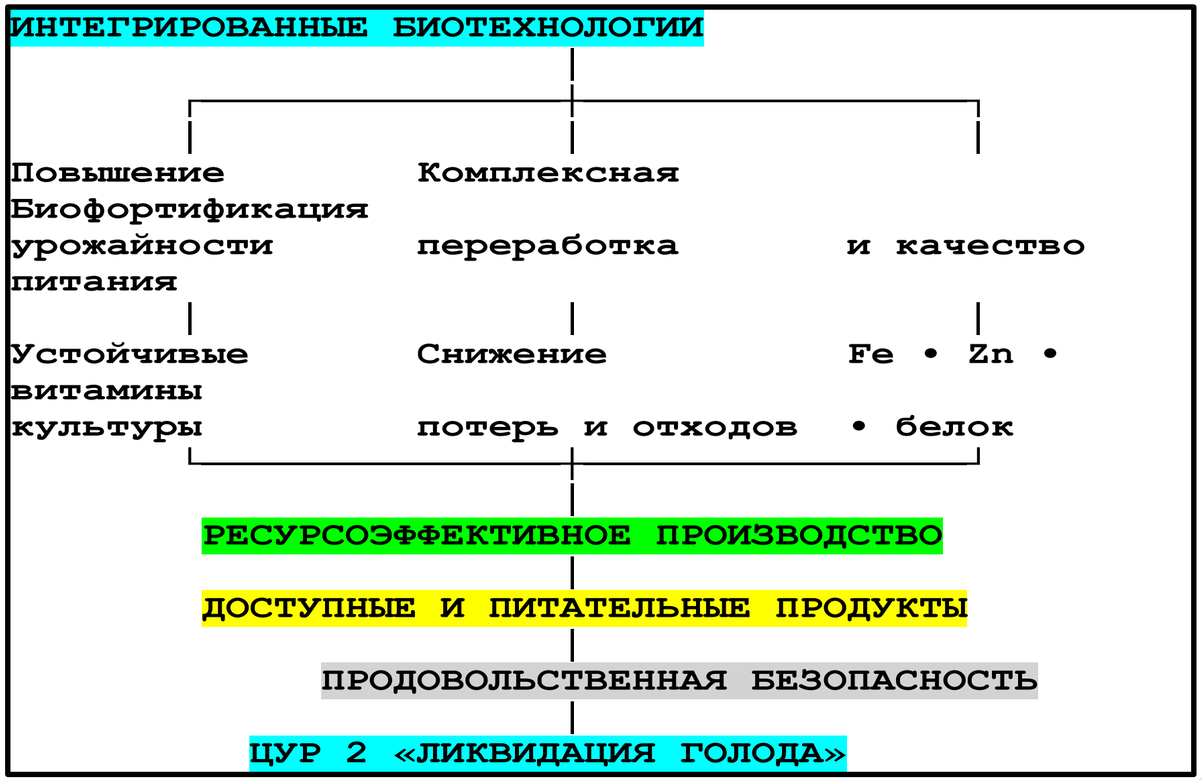


14. Ограничения и перспективы биотрансформации растительными клетками

- *высокая стоимость масштабирования;*
- *нестабильность клеточных линий;*
- *сложности выделения целевого продукта;*
- *требования биобезопасности;*
- *необходимость стандартизации;*
- *нормативное регулирование;*
- *перспективы персонализированного и устойчивого питания.*

Интегрированные биотехнологии переработки растительного сырья обеспечивают комплексную переработку растительного сырья и последовательное получение пищевых ингредиентов, кормов, биоактивных соединений, материалов и энергии. Переход от линейной модели к циркулярной биоэкономике позволяет снижать пищевые потери, повторно использовать побочные потоки и повышать ресурсную эффективность.

Биофортификация, ферментация, клеточные технологии и переработка сельскохозяйственных отходов способствуют увеличению доступности питательных продуктов и укреплению глобальной продовольственной безопасности в соответствии с ЦУР 2 «Ликвидация голода».



Заключение

Интегрированные биотехнологии объединяют ферментативные, микробиологические, клеточные и физико-химические методы, обеспечивая комплексную переработку растительного сырья.
2. Концепция биорефинерии предусматривает каскадное использование растительной биомассы для получения пищевых ингредиентов, биологически активных соединений, биохимикатов и биоэнергетических продуктов.
3. Биотрансформация с использованием растительных клеток позволяет осуществлять направленную модификацию природных соединений и получать ценные специализированные метаболиты.
4. Комбинированные биотехнологические процессы способствуют повышению эффективности использования сырья, снижению производственных потерь и расширению ассортимента биопродуктов.
5. Повышение пищевой ценности растительных продуктов достигается посредством ферментативной обработки, микробной ферментации и других технологий, улучшающих доступность отдельных питательных веществ.
6. Вклад в достижение ЦУР 2 «Ликвидация голода» связан с сокращением продовольственных потерь, более эффективным использованием растительных ресурсов и развитием устойчивых продовольственных систем.

Основной вывод: Интеграция современных биотехнологий и принципов биорефинерии создаёт научно-технологическую основу для рациональной переработки растительного сырья, повышения пищевой ценности продукции и содействия достижению глобальных целей продовольственной безопасности.

Контрольные вопросы

1. Что понимают под интегрированными биотехнологиями?
2. В чем заключается концепция биорефинерии?
3. Какие преимущества имеет комплексная переработка растительного сырья по сравнению с традиционной переработкой?
4. Какие основные платформы используются в современной биорефинерии?
5. Что представляет собой биотрансформация растительными клетками?
6. Чем биотрансформация отличается от биосинтеза и микробной ферментации?
7. Какие типы культур растительных клеток применяются в биотехнологии?
8. Какие вторичные метаболиты получают с использованием культур растительных клеток?
9. Какие биохимические реакции наиболее характерны для биотрансформации растительными клетками?
10. Какие факторы влияют на продуктивность клеточных культур растений?
11. Что такое элиситация и с какой целью её используют?
12. Какие преимущества имеют культуры hairy roots по сравнению с каллусными культурами?
13. Как используются растительные клеточные биореакторы?
14. Какие продукты могут быть получены с использованием растительных клеточных культур?
15. Что понимают под каскадным использованием растительного сырья?

Практические задания

1. **Разработайте схему биорефинерии для комплексной переработки зерна пшеницы с получением пищевых продуктов, функциональных ингредиентов, биоактивных соединений и энергии.**
2. **Предложите технологическую схему получения антиоксидантов из культуры растительных клеток с использованием биореактора.**
3. **Сравните микробную ферментацию и биотрансформацию растительными клетками по основным технологическим характеристикам.**
4. **Предложите способы повышения содержания железа и цинка в зерне пшеницы с использованием современных биотехнологий.**

- **Подготовьте краткий проект биорефинерии для комплексной переработки сельскохозяйственных отходов в условиях Казахстана.**

Список литературы

1. **Загоскина Н.В., Назаренко Л.В.** *Биотехнология*. 4-е изд. Москва: Юрайт; 2023.
2. **Чечина О.Н.** *Общая биотехнология*. 3-е изд. Москва: Юрайт; 2025.
3. **Загоскина Н.В., Назаренко Л.В.** *Экологическая биотехнология*. Москва: Юрайт; 2025.
4. **Просеков А.Ю., Позняковский В.М.** *Пищевая биотехнология продуктов из сырья растительного происхождения*. 2-е изд. Санкт-Петербург: Лань; 2023.
5. **Бутенко Р.Г.** *Биология клеток высших растений in vitro и биотехнологии на их основе*. Москва: Физматлит; 2005.
6. **Калашникова Е.А.** *Клеточная инженерия растений*. Москва: Академия; 2012.
7. **George E.F., Hall M.A., De Klerk G.-J.** *Plant Propagation by Tissue Culture*. 4th ed. Springer; 2024.
8. **Eibl R., Eibl D. (Eds.).** *Plant Cell and Tissue Culture for the Production of Food Ingredients and Nutraceuticals*. Springer; 2023.
9. **Xu J., Ge X., Dolan M.C.** Towards high-yield production of pharmaceutical proteins with plant cell suspension cultures. *Biotechnology Advances*. 2023.
10. **Mujtaba M., et al.** Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: recent advances in integrated biorefinery technologies. *Journal of Cleaner Production*. 2023.
11. **Rischer H., Oksman-Caldentey K.-M.** Plant cell factories for food, nutraceutical and pharmaceutical production. *Current Opinion in Biotechnology*. 2024.
12. **Stephens E., et al.** Plant biotechnology for sustainable food systems. *Nature Plants*. 2024.
13. **FAO.** *The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 (SOFI 2024).* Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2024.
14. **United Nations.** *Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development.* New York: United Nations; 2015.
15. **United Nations.** *Sustainable Development Goal 2: Zero Hunger.* United Nations; актуальная редакция.
16. **Trends in Plant Science.** Special Issue: Plant Biotechnology for Sustainable Agriculture and Food Security. 2024.