Промышленное производство экстрактов. Организация процессов, линии оборудования, масштабирование

Лектор:

PhD, ассоц. профессор

Оңалбек Дамира Дүйсембекқызы



Введение

Растительные экстракты широко используются при производстве:

- лекарственных препаратов;
- фармацевтических субстанций;
- фитопрепаратов;
- косметических средств;
- функциональных продуктов;
- пищевых и биологически активных ингредиентов.
- Промышленное получение экстракта представляет собой не одну операцию экстракции, а **комплекс взаимосвязанных технологических процессов**.

Что такое промышленный растительный экстракт?

Экстракт представляет собой продукт, полученный извлечением компонентов растительного сырья соответствующим экстрагентом с последующим отделением растительного остатка и, при необходимости, частичным или полным удалением растворителя.

В зависимости от консистенции выделяют:

- **Жидкие экстракты**

Сохраняют значительное количество жидкой фазы.

- **Густые экстракты**

Получаются путем частичного удаления растворителя и представляют собой вязкую массу.

- **Сухие экстракты**

Получаются после практически полного удаления экстрагента и высушивания концентрата.

Основные задачи промышленного производства

Производственный процесс должен обеспечивать:

- **воспроизводимость**
- **эффективное извлечение БАВ**
- **экономическую эффективность**
- **соответствие требованиям качества.**

При промышленном производстве особенно важно получать продукт с одинаковыми характеристиками от серии к серии.

Выбор промышленного метода экстракции

На выбор влияют:

свойства сырья;

химическая природа целевых соединений;

растворимость БАВ;

термостабильность;

производительность;

стоимость оборудования;

расход экстрагента;

возможность регенерации растворителя;

требования к конечному продукту.

В промышленности могут применяться:

мацерация;

перколяция;

реперколяция;

противоточная экстракция;

циркуляционная экстракция;

экстракция с перемешиванием;

ультразвуковая экстракция;

другие интенсифицированные технологии.

Промышленный экстрактор периодического действия

Один из распространенных вариантов — герметичный аппарат с мешалкой.

Основные элементы:

- корпус;
- загрузочный люк;
- мешалка;
- рубашка нагревания/охлаждения;
- патрубок подачи растворителя;
- температурный датчик;
- устройство отбора продукта;
- фильтрующее устройство;
- система выгрузки растительного остатка.

Перколяторы промышленного типа

Перколятор представляет собой вертикальный аппарат, заполненный растительным сырьем. Экстрагент движется через слой материала.



Главным условием является равномерное распределение жидкости.
Неравномерное распределение приводит к **каналированию**, когда растворитель движется преимущественно через отдельные участки слоя.

Противоточная промышленная экстракция

При противоточной организации сырье и экстрагент перемещаются в противоположных направлениях:

Свежее сырье →

← Свежий экстрагент

Главное преимущество — поддержание благоприятного концентрационного градиента по длине аппарата.
Наиболее истощенное сырье контактирует с более свежим растворителем.
Более свежее сырье контактирует с более концентрированным извлечением.
Это позволяет повысить эффективность использования растворителя.

Разделение твердой и жидкой фаз

После завершения экстракции необходимо отделить извлечение от растительного остатка. Используются:

- фильтрация;
- прессование;
- центрифугирование;
- отстаивание;
- комбинации методов.

Получают:

Истощенное растительное сырье — шрот.

Жидкое извлечение

Шрот может содержать значительное количество удерживаемого растворителя, поэтому его часто дополнительно прессуют или обрабатывают для возврата экстрагента.

Промышленная фильтрация

Фильтрация удаляет:

частицы растительного материала;

механические примеси; взвешенные компоненты.

Могут применяться: фильтр-прессы; картриджные фильтры; мешочные фильтры; мембранные системы; другие промышленные фильтрующие установки.

Выбор зависит от: вязкости; размера частиц; производительности; требуемой степени очистки.



Концентрирование экстракта

- После фильтрации жидкое извлечение часто содержит большое количество растворителя.
- Для получения концентрированного продукта часть растворителя удаляют.
- Основной промышленный способ — **выпаривание**.
- Однако многие растительные вещества чувствительны к высокой температуре.
- Поэтому широко применяется **вакуумное выпаривание**.



Типы выпарных аппаратов

В промышленности могут использоваться:

- вакуум-выпарные аппараты;
- пленочные испарители;
- роторно-пленочные аппараты;
- многоступенчатые выпарные системы.
- Особенно эффективны пленочные технологии, поскольку жидкость распределяется тонким слоем.
- Это увеличивает поверхность теплообмена и может уменьшить продолжительность теплового воздействия.

Выбор сушительного метода

Преимущества распылительной сушки

- непрерывность процесса;
- высокая производительность;
- получение порошкообразного продукта;
- короткое время пребывания капель в зоне сушки;
- возможность регулирования свойств частиц;
- удобство промышленной автоматизации.
- При необходимости могут использоваться вспомогательные вещества-носители для улучшения технологических свойств продукта.

Лиофильная сушка. Лиофилизация — freeze drying включает:

- замораживание продукта;
- создание вакуума;
- сублимацию льда;
- удаление остаточной влаги.
- Преимущества:
- мягкие условия для чувствительных компонентов;
- хорошее сохранение структуры и активности многих веществ.
- Недостатки:
- длительность;
- высокое энергопотребление;
- высокая стоимость оборудования;
- относительно высокая себестоимость продукта.

Поэтому лиофилизация используется, когда ее преимущества оправдывают дополнительные затраты.

Сравнение способов сушки

Параметр	Распылительная сушка	Лиофилизация
Производительность	Высокая	Низкая/средняя
Скорость	Высокая	Низкая
Стоимость	Средняя	Высокая
Непрерывный процесс	Возможен	Обычно периодический
Тепловая нагрузка	Есть	Низкая
Термолабильные вещества	Требуют оптимизации	Хорошо подходит
Промышленное применение	Очень широкое	Специализированное

Рост масштаба меняет физику процесса

Площадь / объем	Нагрев и охлаждение замедляются
Высота слоя	Растет риск каналов и неоднородности
Мощность мешалки	Интенсивность меняется нелинейно
Фильтрующий осадок	Сопротивление и время растут
Заполнение аппарата	Части партии получают разную тепловую историю

Геометрическое увеличение объема не сохраняет гидродинамику и теплообмен.

Правильная программа масштабирования

1. Зафиксировать целевой профиль качества продукта и допустимые границы.
2. Определить критические материальные свойства сырья: влажность, гранулометрию, насыпную плотность, содержание маркеров, набухание и фильтруемость.
3. Выделить критические параметры процесса и измеряемые промежуточные показатели.
4. Построить материальный и энергетический баланс лабораторного процесса.
5. Провести опыты на пилотном масштабе, варьируя наиболее чувствительные параметры.
6. Проверить не только экстракцию, но и фильтрацию, выпаривание, сушку, мойку и время полного цикла.
7. Установить рабочие диапазоны и стратегию управления, затем выполнить инженерную или валидационную серию.
8. Сопоставить партии по содержанию маркеров, примесям, физическим свойствам, стабильности и воспроизводимости.

Контроль качества и управление рисками

Этап	Пример контроля	Решение по результату
Сырье	Идентичность, влажность, загрязнители, маркерные вещества	Допуск, карантин или отклонение партии
После измельчения	Распределение размеров частиц, температура	Коррекция режима мельницы или просеивание
Экстракция	Температура, pH, плотность, сухие вещества, маркер	Продолжить, завершить или скорректировать процесс
После фильтрации	Мутность, потери с осадком	Повторная фильтрация, промывка или расследование
Концентрат	Сухие вещества, вязкость, содержание маркера	Завершение выпаривания или смешение
Сухой продукт	Влажность, активность воды, остаточный растворитель, микробиология	Выпуск, дополнительная обработка или отклонение

Отклонения и причины

Низкое извлечение: крупные частицы, недостаточное время, неправильный состав растворителя, каналообразование, неполное смачивание.

Высокая мутность: чрезмерное измельчение, разрушение частиц мешалкой, неподходящий фильтрующий материал.

Потемнение или потеря активности: кислород, свет, металл-катализатор, слишком высокая температура или длительное пребывание.

Низкий выход порошка: липкость, неверная температура выхода, недостаток носителя, потери в циклоне и на стенках.

Нестабильность между партиями: вариабельность сырья, слабая стандартизация, невалидированный отбор проб, дрейф датчиков.

Безопасность и экологические аспекты

Основные опасности — горючие пары, давление и вакуум, горячие поверхности, вращающееся оборудование, пыль, химические реагенты и биологическое загрязнение. Для легковоспламеняющихся растворителей нужны классификация взрывоопасных зон, заземление, уравнивание потенциалов, вентиляция, газоанализ, герметичность и оборудование соответствующего исполнения. Конкретные меры определяют по анализу риска и применимым нормам предприятия и страны.

Экологическая эффективность повышается замкнутой регенерацией растворителя, рекуперацией тепла, снижением водопотребления, концентрированием стоков и рациональным использованием жмыха. Но повторное использование растворителя допускается только при контроле его состава и накопления примесей.

Заключение

- Промышленное производство экстрактов — это интегрированная система, а не только стадия экстракции.
- Выбор аппарата определяется сырьем, растворителем, требуемой селективностью, фильтруемостью и масштабом выпуска.
- Сквозной выход и качество формируются на всех стадиях, включая разделение фаз, концентрирование и сушку.
- При масштабировании необходимо сохранять функционально важные условия массообмена, теплообмена и гидродинамики, а не только геометрию.
- Пилотные испытания должны воспроизводить всю технологическую цепочку и подтверждать рабочие диапазоны.
- Безопасность, санитарная обработка, регенерация растворителя и энергетическая эффективность закладываются на этапе проектирования.