# ЛЕКЦИЯ 4
# Ферментация: кинетика и управление процессом

Цель: изучить научные и технологические основы рассматриваемой темы, установить взаимосвязь между свойствами сырья, параметрами процесса и качеством конечного продукта.

План лекции: Стадии процесса и материальные превращения; Кинетические показатели и интерпретация; Биореакторы и параметры масштабирования; Пример экспериментального плана.

## 4.1. Стадии процесса и материальные превращения

Ферментация включает подготовку среды, внесение культуры, адаптацию клеток, активное преобразование субстрата, достижение технологической конечной точки и быстрое охлаждение либо другую операцию стабилизации. Длительность стадий зависит от состава среды, активности закваски и условий производства.

В лабораторной работе необходимо регистрировать исходные и конечные характеристики продукта, промежуточные значения pH и температуры, органолептические изменения. Без этих данных невозможно отделить влияние рецептуры от нестабильности закваски.

Для оценки процесса используют выход продукта, конверсию доступного субстрата, скорость изменения pH и воспроизводимость показателей между партиями.

## 4.2. Кинетические показатели и интерпретация

Удельную скорость роста микроорганизмов в экспоненциальной фазе приближённо оценивают как μ = [ln(X2) − ln(X1)] / (t2 − t1), где X — выбранный показатель биомассы. Формула применима при обоснованном предположении об экспоненциальном росте и сопоставимом методе измерения.

Изменение pH не эквивалентно количеству образовавшейся кислоты из-за буферной ёмкости среды. Поэтому pH дополняют титруемой кислотностью и, при необходимости, анализом метаболитов. Показатель КОЕ также не всегда линейно отражает биомассу при образовании цепочек клеток.

## 4.3. Биореакторы и параметры масштабирования

При переносе из лабораторного объёма в производственный изменяются теплообмен, перемешивание, распределение температуры и контакт с кислородом. Сохранить только температуру и время недостаточно: необходимо проверить однородность среды, санитарную конструкцию и контролируемость дозирования.

Производственные системы предусматривают санитарную обработку оборудования, отбор проб, регистрации отклонений и своевременное охлаждение. Режимы подбирают в ходе валидации для конкретной линии.

## 4.4. Пример экспериментального плана

Для сравнения двух режимов ферментации планируют не менее нескольких независимых повторов, применяют одинаковую партию сырья либо фиксируют различия, определяют заранее основной показатель качества и критерий завершения процесса.

Построив графики pH от времени, сопоставляют конечную консистенцию, запах, жизнеспособность культуры и результат микробиологических тестов. Выбор оптимума основывается на балансе безопасности и качества, а не только на минимальном времени цикла.

## Технологическая схема и контрольные точки

Приёмка и оценка сырья → подготовка и стандартизация → внесение биологического агента или фермента → контролируемое преобразование → стабилизация → оценка качества → упаковка и хранение.

## Практическое задание

Разработайте краткую карту технологического процесса по теме «ферментация: кинетика и управление процессом»: определите сырьё, назначение биологического агента, три измеряемых показателя качества, потенциальные опасности и правила документирования результатов. Численные режимы обоснуйте источниками, а не задавайте произвольно.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какова роль стадии процесса и материальные превращения в технологии пищевых биопродуктов?

2. Какие факторы определяют результат этапа «кинетические показатели и интерпретация»?

3. Какие измерения необходимы для оценки «биореакторы и параметры масштабирования»?

4. Какие ограничения и риски следует учитывать при «пример экспериментального плана»?

5. Как отличить технологическую гипотезу от подтверждённого результата производственных испытаний?

## Рекомендуемые источники

1. Codex Alimentarius. General Principles of Food Hygiene, CXC 1-1969 (включая принципы HACCP). https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/

2. Codex Alimentarius. Standard for Fermented Milks, CXS 243-2003 (актуальная редакция). https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/

3. FAO/WHO. Guidelines for the Evaluation of Probiotics in Food (2002). https://www.fao.org/

4. ГОСТ, технические регламенты ЕАЭС и внутренние спецификации, действующие для соответствующей категории пищевой продукции: проверять актуальную редакцию перед применением.

Примечание. Материал предназначен для учебных целей. Производственные режимы, нормативы, сроки годности и заявления о свойствах продукции требуют подтверждения применимыми регламентами и испытаниями.