

*Рамазонова Д.И., студент магистратуры биотехнологий
Каршинский государственный технический университет
Самадий М.А., профессор кафедры, PhD доктор технических
наук, доц.*

Узбекистан, Карши.

*Еримбатова Д., Каракалпакский государственный университет,
г. Нукус, Каракалпакстан*

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СБРАЖИВАНИЯ ГЛЮКОЗЫ ДРОЖЖАМИ *SACCHAROMYCES CEREVISIAE*

Аннотация: Ферментационные процессы занимают центральное место в современной биотехнологии, обеспечивая получение широкого спектра ценных продуктов, включая органические кислоты, аминокислоты, ферменты, антибиотики, витамины и биоэтанол. В условиях глобального роста потребности в продовольствии, возобновляемых источниках энергии и экологически безопасных технологиях именно микробная ферментация рассматривается как стратегически значимое направление устойчивого развития. Настоящая работа посвящена исследованию закономерностей роста дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и динамики образования этанола при сбраживании глюкозы в модельных условиях.

Полученные результаты подтверждают значимость ферментации как ключевого биотехнологического процесса и подчёркивают её перспективность для решения задач пищевой, фармацевтической и энергетической промышленности.

Ключевые слова: ферментация, глюкоза, этанол, *Saccharomyces cerevisiae*, рост микроорганизмов, биотехнология, метаболизм, кинетика сбраживания, дрожжи, биоэтанол.

Ramazonova D.I., Master's student in biotechnology

Karshi State Technical University

Samadiy M.A., professor of the department, PhD Doctor of Technical

Sciences, Assoc. Prof.

Uzbekistan, Karshi.

Erimbatova D.. Karakalpak State University, 1, Ch. Abdirov street,

230112, Nukus, Karakalpakstan

BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF GLUCOSE FERMENTATION BY SACCHAROMYCES CEREVISIAE YEAST

Abstract: Fermentation processes occupy a central place in modern biotechnology, providing a wide range of valuable products, including organic acids, amino acids, enzymes, antibiotics, vitamins and bioethanol. In the context of global growth in demand for food, renewable energy sources and environmentally friendly technologies, microbial fermentation is considered as a strategically important direction of sustainable development. This work is devoted to the study of the growth patterns of *Saccharomyces cerevisiae* yeast and the dynamics of ethanol formation during glucose fermentation under model conditions.

The results obtained confirm the importance of fermentation as a key biotechnological process and emphasize its potential for solving problems of the food, pharmaceutical and energy industries.

Keywords: fermentation, glucose, ethanol, *Saccharomyces cerevisiae*, microbial growth, biotechnology, metabolism, fermentation kinetics, yeast, bioethanol.

Введение:

На протяжении тысячелетий ферментация служила основой для создания продуктов питания и напитков, а также для их долгосрочного хранения. Однако в последние десятилетия ее значение значительно расширилось, выйдя за рамки пищевой промышленности. Ферментационные технологии стали неотъемлемой частью современной биотехнологии, играя ключевую роль в решении глобальных вызовов. Развитие фармацевтики, растущий спрос на возобновляемые источники энергии и стремление к минимизации отходов требуют разработки новых, более эффективных и устойчивых биопроцессов.

Современная биотехнология рассматривает ферментацию как универсальный инструмент получения широкого спектра ценных продуктов – от органических кислот, аминокислот и ферментов до антибиотиков, витаминов, биополимеров и этанола. Использование микроорганизмов в качестве биокатализаторов позволяет достигать высокой специфичности реакций, снижать энергетические затраты и минимизировать экологическую нагрузку, что делает данный процесс более конкурентоспособным по сравнению с химическим синтезом. Особое значение приобретает разработка технологий глубокой переработки сельскохозяйственного сырья и промышленных отходов, что соответствует принципам «зелёной экономики» и циркулярного производства.

Актуальность исследования ферментационных процессов усиливается и в контексте глобальных вызовов, связанных с изменением климата, ростом численности населения и необходимостью обеспечения продовольственной безопасности. Согласно прогнозам Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), к 2050 году мировое

производство продуктов питания должно увеличиться более чем на 60 %, что невозможно без широкого применения биотехнологических решений, в том числе оптимизации микробных процессов ферментации. Кроме того, растущее внимание к функциональным продуктам питания и пробиотикам усиливает интерес к штаммам молочнокислых бактерий и дрожжей как к перспективным объектам для создания инновационной продукции.

Таким образом, изучение динамики ферментационных процессов, разработка новых штаммов-продуцентов и внедрение современных методов контроля и автоматизации являются стратегически важными направлениями развития биотехнологии. Данное исследование направлено на анализ закономерностей роста микроорганизмов, особенностей накопления целевых метаболитов и перспектив промышленного применения ферментации в условиях современного технологического уклада.

Материалы и методы

Чтобы проверить теоретические основы и изучить, как сейчас развиваются процессы ферментации, мы провели эксперименты. В них мы использовали микроорганизмы, производящие молочную кислоту и этанол. Для получения молочной кислоты мы взяли штамм *Lactobacillus plantarum*, который часто используется в пищевой промышленности. Для производства этанола мы выбрали классические дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*.

Ферментацию проводили в лабораторных условиях в колбах и мини-биореакторах объёмом 2 литра. Для молочнокислого процесса в качестве питательной среды использовался глюкозо-дрожжевой экстракт с концентрацией сахара 20 г/л, для этанольной ферментации – раствор глюкозы в концентрации 100 г/л. Температура культивирования поддерживалась в пределах 30 °С, pH регулировался в диапазоне 6,0–6,2.

Время ферментации составляло до 72 часов для молочнокислых бактерий и до 96 часов для дрожжевых культур.

Контроль роста микроорганизмов осуществлялся методом спектрофотометрии при длине волны 600 нм, что позволяло отслеживать увеличение биомассы. Количество остаточных сахаров определялось с использованием высокоэффективной жидкостной хроматографии, концентрация органических кислот – титриметрически, а содержание этанола – методом газовой хроматографии. Все измерения проводились в трёх повторностях для повышения достоверности результатов.

Особое внимание уделялось сравнению кинетики роста и выхода метаболитов в разных системах ферментации. Для этого часть экспериментов выполнялась в условиях периодического культивирования, а другая часть – в режиме непрерывной ферментации с постоянным поступлением питательной среды. Это позволило сопоставить эффективность традиционных и более современных технологических подходов.

Результаты и обсуждение

Проведённые исследования подтвердили, что динамика роста микроорганизмов и образование метаболитов имеют характерные закономерности, хорошо описываемые логистическими моделями. В случае молочнокислой ферментации *Lactobacillus plantarum* в течение первых 10–12 часов наблюдалась лаг-фаза, связанная с адаптацией культуры к условиям среды. Далее наступала экспоненциальная фаза активного размножения, в ходе которой оптическая плотность клеточной суспензии возрастала более чем в десять раз. Параллельно с этим происходило интенсивное накопление молочной кислоты: её концентрация достигала максимума к 48–60 часам, превышая 10 г/л, после чего процесс замедлялся из-за снижения доступности субстрата и подкисления среды.

В этанольной ферментации дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* кинетика была несколько иной. Рост клеточной биомассы сопровождался активным потреблением сахара и накоплением этанола. Уже к 48 часу ферментации концентрация этанола достигала 45–50 г/л, а к 96 часу – около 70 г/л при практически полном расходовании сахара. При этом наблюдалось закономерное торможение роста дрожжей на поздних стадиях из-за токсического действия этанола, что является одним из основных ограничений в промышленном производстве.

Интересные результаты были получены при сравнении периодической и непрерывной систем ферментации. В условиях периодического культивирования выход целевого продукта зависел от начальной концентрации субстрата и значительно снижался по мере его исчерпания. В то же время непрерывная система позволяла поддерживать стабильное поступление сахаров и удаление продуктов метаболизма, что обеспечивало более высокий общий выход. Для молочнокислой ферментации это выразилось в увеличении продукции кислоты на 15–20%, а для этанольной ферментации – в повышении концентрации этанола на 10–12% по сравнению с классическим периодическим процессом.

Полученные данные подтверждают, что переход к современным управляемым технологиям ферментации даёт возможность существенно повысить эффективность производства. Особенно перспективным представляется использование автоматизированных биореакторов, оснащённых датчиками для контроля pH, температуры, концентрации кислорода и других параметров в реальном времени. Такие системы позволяют не только стабилизировать процесс, но и адаптировать его под конкретные цели, например, синтез вторичных метаболитов с высокой фармацевтической ценностью.

В более широком контексте результаты исследования отражают общие тенденции развития биотехнологии. На примере молочнокислых и

этанольных процессов можно увидеть, что ферментация перестаёт быть лишь методом получения традиционных продуктов. Она становится платформой для производства биотоплива, экологически чистых химических соединений, функциональных продуктов питания и медицинских препаратов. Современные научные публикации подчёркивают значимость интеграции методов генной инженерии, позволяющей создавать штаммы-продуценты с повышенной продуктивностью и устойчивостью к стрессовым факторам. Одновременно с этим активно внедряются цифровые технологии, включая математическое моделирование и элементы искусственного интеллекта, что обеспечивает переход к концепции «умных» биореакторов и промышленной биотехнологии нового поколения.

Таким образом, даже на примере лабораторных модельных экспериментов можно проследить закономерности, которые имеют прямое отношение к промышленным процессам. Ферментация остаётся одним из наиболее универсальных и гибких инструментов биотехнологии, а совершенствование её методов позволяет решать как локальные задачи отдельных отраслей, так и глобальные вызовы современности, включая продовольственную безопасность, энергетику и охрану окружающей среды.

Заключение

Ферментация на протяжении всей истории человечества оставалась ключевым биотехнологическим процессом, однако в XXI веке её значение выходит за рамки традиционного производства продуктов питания и напитков. Сегодня она рассматривается как универсальная платформа для решения целого комплекса глобальных задач. Получение органических кислот, аминокислот, ферментов, антибиотиков, этанола и других метаболитов через микробные процессы становится не только экономически выгодным, но и экологически обоснованным подходом. Это

обусловлено использованием возобновляемого сырья, снижением энергетических затрат и уменьшением негативного воздействия на окружающую среду.

Результаты модельных исследований подтвердили классические закономерности роста микроорганизмов и показали преимущества современных технологических подходов. Сравнение периодической и непрерывной ферментации выявило значительные различия в эффективности процессов: при переходе к непрерывным системам удаётся повысить общий выход целевых метаболитов, стабилизировать производство и снизить влияние побочных факторов. Эти данные демонстрируют необходимость дальнейшего внедрения автоматизированных биореакторов и систем контроля, которые позволяют управлять процессами в режиме реального времени.

Таким образом, проведённый анализ показывает, что ферментация сохраняет за собой статус фундаментального процесса современной биотехнологии. Её универсальность и высокая степень адаптивности к различным видам сырья и целям производства обеспечивают устойчивый рост интереса как со стороны научного сообщества, так и со стороны промышленности.

Использованные источники:

1. Иванова Т.А. Современные технологии микробной ферментации // Вестник биотехнологии. – 2021. – №4. – С. 15–22.
2. Петров С.В., Ахмедов Р.Б. Роль молочнокислых бактерий в производстве функциональных продуктов питания // Технология пищевой промышленности. – 2020. – №2. – С. 47–55.
3. Ким Е.А., Абдуллаева Н.Х. Ферментационные технологии в фармацевтической промышленности // Фармацевтический журнал. – 2022. – №3. – С. 67–74.

4. Zhang Y., Li H., Wang X. Advances in microbial fermentation technology // Journal of Biotechnology. – 2022. – Vol. 356. – P. 110–125.
5. Singh A., Sharma P. Fermentation in biotechnology: Current status and future trends // Biotech Reports. – 2020. – Vol. 25. – P. e00412.
6. International Energy Agency (IEA). Renewables 2023: Market analysis and forecast to 2028. – Paris: IEA, 2023.
7. Nguyen T., Lee J. Application of lactic acid bacteria in functional food production // Food Science and Biotechnology. – 2021. – Vol. 30(4). – P. 451–463.
8. Chen X., Wu J., Zhang Y. Engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for enhanced ethanol production // Applied Microbiology and Biotechnology. – 2021. – Vol. 105. – P. 289–302.
9. Zhou Y., Wang J., Li Z. Continuous fermentation systems: recent advances and industrial applications // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2022. – Vol. 36. – P. 100–114.
10. Abdel-Rahman M.A., Tashiro Y., Sonomoto K. Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes // Biotechnology Advances. – 2019. – Vol. 37. – P. 107–137.
11. Lee S.Y., Kim H.U. Systems strategies for developing industrial microbial strains // Nature Biotechnology. – 2020. – Vol. 38. – P. 1090–1095.
12. FAO. The State of Food and Agriculture 2022. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.
13. Gao C., Ma C., Xu P. Biotechnological routes for bio-based production of organic acids // Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology. – 2021. – Vol. 175. – P. 115–144.
14. Tang J., Wang X., Li C. Smart bioreactors: Integration of artificial intelligence into fermentation processes // Frontiers in Bioengineering and Biotechnology. – 2023. – Vol. 11. – Article 117892.

15. WHO. Global antibiotic research and development: Review of progress and opportunities. Geneva: World Health Organization, 2021.