

УДК 663

ENHANCING YEAST VIABILITY AND FERMENTATION PERFORMANCE IN HIGH-GRAVITY BREWING VIA PULSED ULTRASONIC TREATMENT: MECHANISMS OF STRESS PROTECTION AND LONGEVITY EXTENSION

Abbar A¹ (PhD student), **Agyei P. K¹** (PhD student)

Scientific Supervisor – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor Ishevsky A.L¹

¹ITMO University
abbarabdeldjalil@gmail.com

The work was completed within the research topic No 663 “Microbiological production. Fermentation production. Beverage production (alcoholic, low-alcohol, and non-alcoholic). Flavoring production”.

Abstract

High-gravity fermentation enhances ethanol productivity but imposes intense osmotic and metabolic stress on *Saccharomyces cerevisiae*, leading to reduced viability and premature cellular senescence. This study proposes application of pulsed ultrasonic treatment (PUT) during early fermentation to bolster yeast longevity and process performance. Based on emerging evidence that low-intensity ultrasound can modulate membrane permeability, enhance stress tolerance, and improve metabolic activity in yeast systems, we hypothesize that pulsed exposure will (i) mitigate osmotic and ethanol-induced stress, (ii) reduce rates of viability loss, and (iii) maintain fermentative performance under high sugar concentrations. Expected outcomes include enhanced viability and longevity metrics (cell counts, metabolic activity), improved ethanol yield, and altered stress tolerance biomarkers. This work will yield mechanistic insights into ultrasound-mediated stress protection and practical implications for industrial high-gravity fermentation optimization.

Keywords

Fermentation, Ultrasound, Non-thermal, Longevity, Cell viability, high gravity, Bioethanol.

ПОВЫШЕНИЕ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ ДРОЖЖЕЙ И ЭФФЕКТИВНОСТИ БРОЖЕНИЯ ПРИ ПИВОВАРЕНИИ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКОЙ ПЛОТНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМПУЛЬСНОЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ: МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ ОТ СТРЕССА И ПРОДЛЕНИЯ ЖИЗНИ ДРОЖЖЕЙ.

Аббар А¹ (Аспирант), **Агьи П. К¹** (Аспирант)

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Ишевский А.Л¹.

¹Университет ИТМО
abbarabdeldjalil@gmail.com

Работа выполнена в рамках темы НИР № 663” Микробиологические производства. Бродильные производства. Производство напитков (алкогольных, слабоалкогольных и безалкогольных). Производство вкусовых продуктов”.

Аннотация

Высокогравитационная ферментация повышает продуктивность этанола, но создает интенсивный осмотический и метаболический стресс для *Saccharomyces cerevisiae*, что приводит к снижению жизнеспособности и преждевременному старению клеток. В данном исследовании предлагается применение импульсной ультразвуковой обработки (ИУО) на ранних стадиях ферментации для

повышения жизнеспособности дрожжей и эффективности процесса. Основываясь на новых данных о том, что низкоинтенсивный ультразвук может модулировать проницаемость мембран, повышать устойчивость к стрессу и улучшать метаболическую активность в дрожжевых системах, мы предполагаем, что импульсное воздействие (i) смягчит осмотический и вызванный этанолом стресс, (ii) снизит скорость потери жизнеспособности и (iii) сохранит эффективность ферментации при высоких концентрациях сахара. Ожидаемые результаты включают повышение показателей жизнеспособности и долговечности (количество клеток, метаболическая активность), увеличение выхода этанола и изменение биомаркеров устойчивости к стрессу. Эта работа позволит получить представление о механизмах защиты от стресса, опосредованной ультразвуком, и даст практические последствия для оптимизации промышленной высокогравитационной ферментации.

Ключевые слова

Ферментация, ультразвук, нетепловой процесс, долговечность, жизнеспособность клеток, высокая плотность, биоэтанол.

High gravity fermentation is widely applied in bioethanol and beverage production because it enhances volumetric productivity and process efficiency. However, elevated concentration and rapid ethanol accumulation impose severe osmotic and ethanol stress on *Saccharomyces cerevisiae*, leading to membrane destabilization, metabolic imbalance, and reduced cellular viability. Osmotic tolerance and stress adaptation are critical determinants of fermentation performance under such conditions [1]. Studies report enhanced biomass formation, improved metabolic activity, and increased ethanol productivity in yeast fermentations under optimized acoustic conditions [2,3]. Controlled ultrasonic regimes have been shown to improve fermentation dynamics without significant cellular damage. However, the specific application of pulsed ultrasonic treatment to extend yeast longevity under high gravity stress has not been systematically investigated.

Saccharomyces cerevisiae will be fermented under high gravity conditions exceeding 250 g/L glucose with three experimental groups: control, continuous ultrasound, and pulsed ultrasonic treatment applied at optimized frequency and duty cycles. Fermentation kinetics, ethanol production, cell viability, and selected stress markers will be monitored to evaluate the influence of ultrasonic parameters on yeast longevity and performance. Treated cells are anticipated to exhibit improved membrane stability and enhanced stress adaptation compared with control conditions. Improved viability and metabolic maintenance are expected to result in enhanced fermentation efficiency and ethanol yield. The study will also evaluate longevity related indicators including cell counts and metabolic activity as measures of stress protection and lifespan extension.

This study proposes the integration of pulsed ultrasonic treatment as a bioprocess intervention to extend yeast longevity under high gravity fermentation stress. The successful demonstration of enhanced viability sustained metabolic activity, and improved ethanol productivity would provide a scalable strategy for fermentation industries seeking improved productivity and process robustness.

Literature

1. Chen, A., Qu, T., Smith, J. R., Li, J., Du, G., Chen, J. Osmotic tolerance in *Saccharomyces cerevisiae*: Implications for food and bioethanol industries. Food Bioscience, 60, 104451, 2024.
2. Hao, J., Xu, H., Yan, P., Yang, M., Mintah, B. K., Dai, C., Zhang, R., Ma, H., He, R. Application of fixed-frequency ultrasound in the cultivation of *Saccharomyces cerevisiae* for rice wine fermentation. Journal of the Science of Food and Agriculture, 104(11), 6417–6430, 2024.
3. Hao, J., Yang, M., Dabbour, M., Mintah, B. K., Dai, C., Zhang, R., Zhang, Z., Ma, H., He, R. Enhancing ethanol tolerance and metabolic activity of *Saccharomyces cerevisiae* during rice fermentation by fixed-frequency ultrasound. Food Research International, 218, 116892, 2025.