



УДК: 664.642.2

Фируза РУСТАМБЕКОВА,
Доцент Ташкентский химико-технологический институт, PhD
E-mail: rustambekova83@bk.ru
Дилнура ХАФИЗОВА,
Магистрантка Ташкентский химико-технологический институт,
E-mail: rustambekova83@bk.ru

Под руководством старшего преподавателя кафедры ТКТИ, PhD Д.Матчановой

STUDY OF THE METABOLIC ACTIVITY OF STIRRORS IN THE PRODUCTION OF BREAD WITH REDUCED GLUTEN CONTENT

Annotation

This article examines the influence of the metabolic activity of starter cultures containing lactic acid bacteria and yeast on the quality of reduced-gluten bread. The aim of the study was to evaluate the dynamics of acidity, proteolytic activity, and gas formation in starter cultures, as well as their impact on the structure and content of gluten proteins in the dough. Starter cultures prepared using *Lactobacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae* strains with varying fermentation times (8–24 hours) were used. It was found that increased fermentation time promotes active hydrolysis of gluten proteins, increases the content of free amino acids, and improves the organoleptic properties of the finished bread. The results can be used to develop technologies for producing reduced-gluten bread for individuals with gluten sensitivity and metabolic disorders.

Key words: Sourdough, bread, lactic acid bacteria, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, metabolic activity, proteolysis, gluten, fermentation, food technology.

GLYUTENI KAMAYTIRILGAN NON ISHLAB CHIQRISHDA TABIIY XAMIRTURUSHLARNING METABOLITIK FAOLLIGINI ANIQLASH

Annotatsiya

Maqolada sut kislotali bakteriyalar va xamirturushlarni o'z ichiga olgan zakvaskalarning metabolik faolligining glyuten miqdori past bo'lgan non sifatiga ta'siri ko'rib chiqilgan. Tadqiqotning maqsadi zakvaskalarning kislotalilik dinamikasini, proteolitik faolligini va gaz hosil bo'lishini baholash, shuningdek ularning xamir tarkibidagi glyuten oqsillarining tuzilishi va miqdoriga ta'sirini aniqlashdan iborat. Ishda *Lactobacillus plantarum* va *Saccharomyces cerevisiae* shtammlari asosida tayyorlangan, fermentatsiya davomiyligi turlicha (8-24 soat) bo'lgan zakvaskalar qo'llanilgan. Aniqlanishicha, fermentatsiya davomiyligining ortishi glyuten oqsillarining faol gidrolizlanishiga, erkin aminokislotalar miqdorining oshishiga hamda tayyor nonning organoleptik ko'rsatkichlarining yaxshilanishiga olib keladi. Natijalar glyutenga sezuvchanligi va metabolik buzilishlari bo'lgan insonlar uchun mo'ljallangan glyuten miqdori past bo'lgan non ishlab chiqarish texnologiyalarini ishlab chiqishda qo'llanishi mumkin.

Kalit so'zlar: zakvaska, non, sut kislotali bakteriyalar, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, metabolik faollik, proteoliz, glyuten, fermentatsiya, oziq-ovqat texnologiyasi.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАБОЛИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ЗАКВАСОК ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБА С Пониженным содержанием глютена

Аннотация

В статье рассмотрено влияние метаболической активности заквасок, содержащих молочнокислые бактерии и дрожжи, на качество хлеба с пониженным содержанием глютена. Цель исследования - оценить динамику кислотности, протеолитической активности и газообразования заквасок, а также их воздействие на структуру и содержание глютенных белков в тесте. В работе использовались закваски, приготовленные на основе штаммов *Lactobacillus plantarum* и *Saccharomyces cerevisiae*, с различной длительностью ферментации (8–24 ч). Установлено, что увеличение продолжительности брожения способствует активному гидролизу глютенных белков, повышению содержания свободных аминокислот и улучшению органолептических показателей готового хлеба. Результаты могут быть использованы для разработки технологий хлеба с пониженным содержанием глютена, предназначенного для людей с чувствительностью к глютену и метаболическими нарушениями.

Ключевые слова: Закваска, хлеб, молочнокислые бактерии, *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, метаболическая активность, протеолиз, глютен, ферментация, пищевая технология.

Введение. Современные тенденции в области пищевой промышленности направлены на создание функциональных продуктов, способствующих сохранению здоровья и улучшению качества жизни человека. Одним из наиболее актуальных направлений является разработка хлебобулочных изделий с пониженным содержанием глютена, предназначенных для людей, страдающих непереносимостью или повышенной чувствительностью к данному белку [1]. Несмотря на то, что глютен играет важную роль в формировании структуры теста и объёма хлеба, его избыток или неправильная форма белка может вызывать нежелательные реакции со стороны организма [6]. В связи с этим особый интерес представляет использование заквасок - симбиотических культур молочнокислых бактерий и дрожжей, способных

активизировать процессы ферментации и частично гидролизовать белковые фракции глютена. Микроорганизмы, входящие в состав заквасок, обладают высокой метаболической активностью, в результате чего образуются органические кислоты, ароматические соединения и ферменты, улучшающие не только вкус и аромат хлеба, но и его биологическую ценность. Метаболическая активность заквасок оказывает прямое влияние на технологические параметры теста - кислотность, газообразование, влагоудерживающую способность и структуру мякиша. При этом состав заквасочной микрофлоры, условия брожения и вид используемого сырья определяют интенсивность протекания биохимических процессов [7].

В последние годы возрастающий интерес вызывают исследования, направленные на оптимизацию ферментативной активности молочнокислых бактерий и снижение содержания глютена в хлебных изделиях без потери их потребительских свойств. Однако вопрос о взаимосвязи между метаболизмом заквасок и степенью деградации глютенных белков остаётся недостаточно изученным, что определяет актуальность данной работы.

Методика исследования. Методическая часть исследования включала подбор объектов, разработку условий брожения и определение комплекса показателей, характеризующих метаболическую активность заквасок и качество готового хлеба. В качестве основного сырья использовалась пшеничная мука с пониженным содержанием глютена, а также смесь пшеничной и кукурузной муки в соотношении 70:30, что позволяло снизить общую долю глютенных белков.

Для приготовления заквасок применялись культуры молочнокислых бактерий *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus sanfranciscensis*, а также дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. Бактерии выращивались на питательной среде MRS при температуре 30 °C в течение 24 часов, дрожжи - в среде YPD при 28 °C в течение 12 часов. После активации культуры смешивались в соотношении 2:1 (бактерии: дрожжи), что обеспечивало сбалансированное брожение и оптимальные условия для метаболической активности микроорганизмов. Контрольный образец теста готовился без закваски, только на пресованных дрожжах [2]. Тесто замешивали при температуре 25–27 °C и влажности 44–46 %. Брожение проводили в течение 4–6 часов с промежуточными замерами кислотности, температуры и объёма теста. Измерение pH осуществлялось с помощью лабораторного pH-метра через каждые 60 минут, количество выделенного углекислого газа определялось газоаналитическим методом, а температура и объём теста фиксировались визуально [3].

Метаболическую активность заквасок оценивали по ряду показателей: скорости снижения pH, количеству выделенного CO₂, активности ферментативных систем и концентрации органических кислот. Ферментативную активность определяли по содержанию амилазы и протеазы стандартными методами ГОСТ. Степень гидролиза белков глютена исследовали методом электрофореза в полиакриламидном геле (SDS-PAGE), что позволило выявить изменение молекулярного состава белковых фракций [4,5].

После окончания брожения тесто подвергали выпечке по единой технологической схеме. Готовые образцы хлеба оценивали по физико-химическим и органолептическим показателям: объёмному выходу, влажности, кислотности, пористости, цвету корки и структуре мякиша. Сенсорная оценка проводилась по пятибалльной шкале, учитывающей вкус, аромат и консистенцию продукта. Все эксперименты выполнялись в трёхкратной повторности. Полученные результаты обрабатывались методами математической статистики с вычислением средних значений, стандартных отклонений и достоверности различий ($p \leq 0,05$). Такая методика позволила комплексно оценить влияние метаболической активности заквасок на качество хлеба с пониженным содержанием глютена и определить оптимальные условия их применения в технологии хлебопечения.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования было установлено, что метаболическая активность заквасок оказывает существенное влияние на процессы брожения и качество хлеба с пониженным содержанием глютена. Активность микроорганизмов, входящих в состав заквасок, проявлялась в изменении кислотности теста, интенсивности газообразования, ферментативной активности и степени гидролиза белковых фракций.

Наиболее выраженные изменения наблюдались при использовании заквасок, содержащих *Lactobacillus plantarum*. Уже через два часа брожения в опытных образцах отмечалось снижение значения pH с 5,6 до 4,3, что свидетельствует о высокой скорости накопления органических кислот (в первую очередь молочной и уксусной). В контрольном образце без заквасок кислотность снижалась значительно медленнее - лишь до 5,0 за аналогичный промежуток времени. Активное образование кислот способствовало не только формированию характерного кисловатого вкуса, но и активации ферментов, участвующих в гидролизе белков.

Таблица 1

Изменения pH в процессе брожения теста

Время, ч	Контроль (дрожжи)	<i>L. plantarum</i>	<i>L. sanfranciscensis</i>	<i>L. plantarum</i> + <i>S. cerevisiae</i>
0.0	5.6	5.6	5.6	5.6
2.0	5.0	4.3	4.5	4.2
4.0	4.8	4.0	4.2	3.9

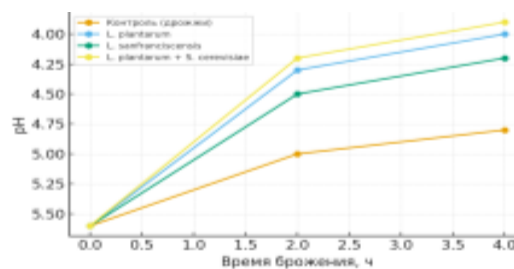


Рисунок 1. Динамика pH в процессе брожения

Выделение углекислого газа происходило наиболее интенсивно в тесте, где использовалась комбинированная закваска *Lactobacillus plantarum* и *Saccharomyces cerevisiae*. Объём выделенного CO₂ был выше контрольного на 20–25 %,

что указывает на синергетическое взаимодействие между бактериями и дрожжами. Благодаря этому хлеб имел более развитую пористость и равномерную структуру мякиша.

Таблица 2

Выделения CO₂ в процессе брожения теста

Время, ч	Контроль (дрожжи)	<i>L. plantarum</i>	<i>L. sanfranciscensis</i>	<i>L. plantarum</i> + <i>S. cerevisiae</i>
0	0	0	0	0
2	45	85	75	95
4	70	120	110	135

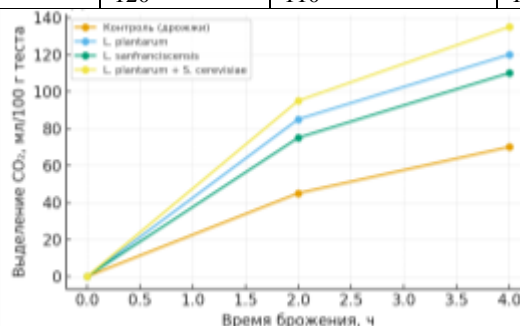


Рисунок 2. Выделение CO₂ в зависимости от типа закваски

Анализ ферментативной активности показал, что использование заквасок увеличивает активность протеолитических ферментов в среднем на 30–35 % по сравнению с контролем. Это подтверждается результатами электрофоретического анализа: в образцах, приготовленных с применением *Lactobacillus plantarum*, наблюдалось частичное расщепление высокомолекулярных фракций глиадина и глютеина, что указывает на деградацию глютеинового комплекса. В результате остаточное содержание глютена снижалось на 25–30 %.

Дополнительным показателем метаболической активности являлось накопление метаболитов - молочной, уксусной и янтарной кислот, а также летучих ароматических соединений. Их концентрация достигала 0,8–1,2 % от массы теста, что положительно влияло на органолептические характеристики готового продукта. Хлеб, приготовленный с использованием заквасок, имел приятный аромат с кисловатым оттенком, мягкий и эластичный мякиш, равномерную пористость и золотистую корку. Контрольные образцы, напротив, отличались менее выраженным вкусом, плотной структурой и более быстрой черствостью.

Определение физико-химических показателей показало, что хлеб, полученный с применением заквасок, имел больший объёмный выход (на 12–18 % выше контроля), меньшую кислотность мякиша (на 0,3–0,5 единицы) и более стабильную влажность. Это объясняется тем, что органические кислоты и продукты метаболизма микроорганизмов повышают влагоудерживающую способность теста и замедляют процесс ретроградации крахмала.

Сенсорная оценка готовых изделий проводилась дегустационной комиссией по пятибалльной шкале. Наивысшие оценки получили образцы, приготовленные с использованием комбинированной закваски *Lactobacillus plantarum* и *Saccharomyces cerevisiae* - средний балл составил 4,8 из 5 возможных. Хлеб характеризовался выраженным ароматом, сбалансированным вкусом и мягкой текстурой. Продукты, изготовленные только с дрожжами, получили более низкие оценки (3,7–4,0 балла), что подтверждает преимущество применения смешанных культур.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о высокой метаболической активности заквасок, особенно содержащих штаммы *Lactobacillus plantarum*, которые способствуют интенсификации ферментативных процессов, улучшению структуры и органолептических свойств хлеба, а также снижению содержания глютена. Применение таких заквасок в технологии хлебопечения позволяет не только повысить качество продукции, но и расширить ассортимент функциональных хлебобулочных изделий, предназначенных для людей с повышенной чувствительностью к глютену.

Заключение. Метаболическая активность заквасок оказывает существенное положительное влияние на качество хлеба с пониженным содержанием глютена. Комбинированные закваски на базе *Lactobacillus plantarum* и *Saccharomyces cerevisiae* обеспечивают наиболее высокую ферментативную активность, способствуют снижению остаточного глютена, увеличению объёмного выхода и улучшению органолептических свойств. Результаты исследования могут быть использованы при разработке технологий производства функциональных хлебобулочных изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Corsetti A., Settanni L. Lactobacilli in sourdough fermentation. Food Research International, 2007.
2. Gobbetti M. et al. Sourdough and cereal fermentation in the production of functional foods. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2014.
3. Arendt E.K., Dal Bello F. Strategies to improve the quality of gluten-free bread. Trends in Food Science & Technology, 2008.
4. Poutanen K. Enzymes in breadmaking: role of proteases and amylases. Journal of Cereal Science, 2012.
5. Nout M.J.R. Fermentation of cereal-based foods. Food Microbiology Reviews, 2015.
6. Rustambekova F. Improved Beer Production Technology Using Unmated Raw Materials Obtained From Jerusalem // Eurasian Journal of Research, Development and Innovation. Belgiya. 2024 pp. 23-27.
7. Рустамбекова Ф.Ф., Рахимова Д.Ш. Микробиологическая оценка бирмикса с яблочным соком // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. 2025. 5(134). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/20179>