

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2652>  
<https://elibrary.ru/TMPWBG>

Оригинальная статья  
<https://fptt.ru>

## Управление микрофлорой ржанных заварок при дискретном режиме производства хлеба



О. В. Чугунова<sup>1,\*</sup>, Р. Т. Тимакова<sup>1</sup>, А. В. Акулич<sup>2</sup>,  
Т. Д. Самуйленко<sup>2</sup>, Е. С. Лыбенко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный экономический университет<sup>ROR</sup>, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Могилев, Беларусь

<sup>3</sup> Вятский государственный агротехнологический университет<sup>ROR</sup>, Киров, Россия

Поступила в редакцию: 15.05.2026

Принята после рецензирования: 07.07.2026

Принята к публикации: 04.08.2026

\*e-mail: [Chugunova@usue.ru](mailto:Chugunova@usue.ru)

© О. В. Чугунова, Р. Т. Тимакова, А. В. Акулич,  
Т. Д. Самуйленко, Е. С. Лыбенко, 2026



### Аннотация.

В технологии заварного хлеба ключевую роль играют ржанные заварки – сложные микробиологические системы, в которых консорциумы молочнокислых бактерий (*Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Fructilactobacillus sanfranciscensis*) и дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kazachstania humilis*) определяют органолептические, структурно-механические и питательные свойства готовых изделий. Стабильность и активность заквасочной микрофлоры зависят от состава среды и наличия внешних модуляторов, в качестве которых могут выступать нетрадиционные растительные компоненты – источники полифенолов, терпеноидов и эфирных масел. Цель исследования – установить количественные закономерности влияния порошков коры дуба (*Quercus robur*), травы эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*), листа шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*) и травы полыни горькой (*Artemisia absinthium*) на динамику роста, кислотонакопление и метаболическую активность молочнокислых бактерий и дрожжей, культивируемых в ржанных заварках, с учетом варьирования технологических параметров (температуры и продолжительности) в дискретном режиме производства заварного хлеба.

Объектом исследования служила сброженная заварка на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, приготовленная с внесением порошков коры дуба (до 0,180 % от массы муки), травы эхинацеи пурпурной (до 0,050 %), листа шалфея (до 0,140 %) и травы полыни горькой (до 0,015 %). Для получения термофильной заквашенной заварки использовали чистую культуру *L. delbrueckii* штамм 76. Эксперименты проводили в лабораториях кафедры технологии хлебопродуктов Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий (Республика Беларусь), а также Единого лабораторного комплекса Уральского государственного экономического университета (Екатеринбург, Россия). В работе применяли стандартные микробиологические (посев на питательные среды), физико-химические (титруемая кислотность, определение органических кислот по МВИ.МН 2769-2007) и статистические (регрессионный анализ, однофакторный дисперсионный анализ ANOVA с пост-хок критерием Тьюки, Statgraphics Plus 5.0) методы.

Методом полного факторного эксперимента получены регрессионные уравнения ( $R^2 > 0,95$ ), описывающие влияние концентрации фитодобавок (0,015–0,180 %), температуры (25–55 °С) и продолжительности (60–480 мин) на показатели ржанных заварок. Установлено, что кора дуба обеспечивает максимальный прирост молочнокислых бактерий ( $1695,4 \times 10^6$  КОЕ/г); полынь горькая ингибирует микрофлору при концентрации выше 0,015 %. Внесение фитодобавок снижает содержание молочной кислоты (с 6,79 до 3,60–5,21 г/кг) и увеличивает содержание уксусной (с 0,20 до 0,40–0,85 г/кг), что расширяет вкусоароматический профиль заварок.

Полученные зависимости позволяют целенаправленно регулировать биотехнологические процессы в ржанных полуфабрикатах при дискретном производстве заварного хлеба. Применение исследованных фитодобавок расширяет вкусоароматический профиль сброженной заварки и улучшает потребительские свойства готовых изделий.

**Ключевые слова.** Заварной хлеб, ржанные заварки, иммобилизация микроорганизмов, молочнокислые бактерии, дрожжи, кора дуба, эхинацея пурпурная, шалфей, полынь горькая

**Для цитирования:** Чугунова О. В., Тимакова Р. Т., Акулич А. В., Самуйленко Т. Д., Лыбенко Е. С. Управление микрофлорой ржанных заварок при дискретном режиме производства хлеба. Техника и технология пищевых производств. 2026. Т. 56. № 3. С. 492–503. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2652>

## Control of Rye Scolding Microflora in Discrete Bread Production



Olga V. Chugunova<sup>1,\*</sup>, Roza T. Timakova<sup>1</sup>, Alexander V. Akulich<sup>2</sup>,  
Tatyana D. Samoylenko<sup>2</sup>, Elena S. Lybenko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ural State University of Economics, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Belarus

<sup>3</sup> Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

Received: 15.05.2026

Revised: 07.07.2026

Accepted: 04.08.2026

\*e-mail: [Chugunova@usue.ru](mailto:Chugunova@usue.ru)

© O.V. Chugunova, R.T. Timakova, A.V. Akulich,  
T.D. Samuylenko, E.S. Lybenko, 2026



### Abstract.

In scalded breadmaking technology, scalded rye mixes are complex microbiological systems based on consortia of lactic acid bacteria (*Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Fructilactobacillus sanfranciscensis*) and yeasts (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kazachstania humilis*). They determine the sensory, rheological, and nutritional properties of the finished products. The stability and activity of the starter microflora depend on the composition of the medium and the presence of external modulators, which may include non-traditional plant components – sources of polyphenols, terpenoids, and essential oils. The aim of the study was to establish quantitative patterns of the effect of oak bark (*Quercus robur*), *Echinacea purpurea*, *Salvia officinalis*, and *Artemisia absinthium* powders on the growth dynamics, acid accumulation, and metabolic activity of lactic acid bacteria and yeasts cultivated in scalded rye mixes under varying technological parameters (temperature and duration) in a discrete scalded bread production mode.

The experimental fermented scalded mix was based on a saccharified and thermophilic sourdough starter with oak bark powder ( $\leq 0.180\%$  of flour weight), *Echinacea purpurea* ( $\leq 0.050\%$ ), sage leaf ( $\leq 0.140\%$ ), and *Artemisia absinthium* ( $\leq 0.015\%$ ). A pure culture of *L. delbrueckii* strain 76 was used as the starter. The experiments were conducted at the laboratories of the Belarusian State University of Food and Chemical Technologies (Republic of Belarus) and the Unified Laboratory Complex of the Ural State University of Economics (Yekaterinburg, Russia). The research involved standard microbiological, physicochemical, and statistical methods.

The fermentation lasted 60–480 min at 45–55°C for the sourdough samples and 25–35°C for the scalded mixes. Oak bark provided the maximum increase in lactic acid bacteria ( $1695.4 \times 10^6$  CFU/g), while *Artemisia absinthium* inhibited the microflora at concentrations above 0.015%. The addition of phytochemical components reduced lactic acid content (from 6.79 to 3.60–5.21 g/kg) and increased acetic acid content (from 0.20 to 0.40–0.85 g/kg), thus expanding the flavor profile of the scalded mixes.

These correlations enable the targeted regulation of biotechnological processes in rye semi-finished products during discrete scalded bread production. The plant additives expand the flavor profile of fermented scalded mixes while improving the consumer properties of the finished products.

**Keywords.** Scalded bread, rye scalding mix, immobilization of microorganisms, lactic acid bacteria, yeasts, *Quercus robur*, *Echinacea purpurea*, *Salvia officinalis*, *Artemisia absinthium*

**For citation:** Chugunova OV, Timakova RT, Akulich AV, Samuylenko TD, Lybenko ES. Control of Rye Scolding Microflora in Discrete Bread Production. Food Processing: Techniques and Technology. 2026;56(3):492–503. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2026-3-2652>

### Введение

В мире неуклонно растет потребность в продуктах функциональной направленности [1–4]. Этот тренд прямо пропорционален уровню осведомленности покупателей об их пользе [5]. Значимость ржаного хлеба трудно переоценить. Недавние исследования показали, что его регулярное потребление снижает уровень холестерина в крови примерно на 12 %, что обусловлено химическим составом [6]. Включение

ржаного хлеба в рацион связывают с более низкой частотой возникновения диабета 2 типа, сердечно-сосудистых заболеваний и их факторов риска. Данный продукт вызывает более низкую инсулиновую реакцию организма [7], позволяет корректировать вес и модулировать микробиоту кишечника [8]. Кроме того, потребление ржаного хлеба в качестве вспомогательного метода лечения смягчает проявления синдрома раздраженного кишечника [9].

Известно, что ржаной хлеб готовится на закваске, которая не только придает хлебу определенные свойства, но и рассматривается в качестве полезного для здоровья человека продукта. Закваска является благоприятной средой обитания различных микроорганизмов. При этом каждая закваска уникальна и характеризуется собственным составом популяций микроорганизмов, их активностью и взаимодействием [10–12].

Ржаные закваски на заварках представляют собой микробиологические системы, в которых консорциумы молочнокислых бактерий (*Lactiplantibacillus plantarum*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Fructilactobacillus sanfranciscensis*) и дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*, *Kazachstaniana humilis*) определяют органолептические, структурно-механические и питательные свойства конечного продукта [13]. Устойчивость и активность заквасочной микрофлоры зависят от ряда факторов, включая биохимический состав среды, параметры ферментации и наличие внешних модуляторов, например нетрадиционных растительных компонентов.

Биохимическая среда ржаных заквасок на заварке по сравнению с обычными заквасками отличается повышенным количеством доступных питательных веществ, образующихся в процессе заваривания части муки и последующего воздействия на заварку ферментов незаваренной муки. Такие закваски характеризуются высоким содержанием мальтозы, декстринов, свободных аминокислот и минеральных веществ, что создает селективные условия для развития специфических таксонов микроорганизмов [14].

Изменяя рецептурный состав заварок и технологические параметры их приготовления, можно влиять на вязкость заквасок и доступность питательных веществ. Вследствие этого в заквасках активизируются различные группы бактерий, обуславливающие изменения вкусовых и ароматических свойств готовых изделий [15, 16]. Готовые закваски должны обладать биосовместимостью микробных консорциумов, синергизмом внутри ассоциации, безопасностью для микрофлоры человека, а также стабильностью при внесении функциональных и профилактических ингредиентов [18].

С развитием функционального питания и ресурсосберегающих технологий активизировался научный интерес к использованию нетрадиционных растительных компонентов в качестве модуляторов ферментационных процессов [18–21]. Продукты переработки коры дуба (*Quercus robur*), эхинацеи пурпурной (*Echinacea purpurea*), шалфея лекарственного (*Salvia officinalis*) и полыни горькой (*Artemisia absinthium*) содержат комплекс биоактивных соединений – полифенолов (фенольные кислоты, флавоноиды, конденсированные танины), терпеноидов и эфирных масел, которые могут служить дополнительными субстратами для микроорганизмов, модулировать их метаболическую активность, проявлять селективные антимикробные свойства

в отношении контаминантной микрофлоры, а также обогащать конечный продукт антиоксидантными соединениями [22].

Полифенольные соединения оказывают двойственное влияние на микроорганизмы заквасок. С одной стороны, многие из них обладают выраженной антимикробной активностью, реализуемой через механизмы нарушения целостности цитоплазматических мембран, ингибирования ключевых ферментов (АТФ-аз, дегидрогеназ) и хелатирования ионов металлов, необходимых для метаболизма [23]. В частности, экстракты коры дуба, богатые эллаговой кислотой и проантоцианидинами, оказывают ингибирующее действие в отношении ряда грамположительных и грамотрицательных бактерий, включая отдельные штаммы *Staphylococcus aureus* и *Escherichia coli* [24].

В то же время отдельные штаммы молочнокислых бактерий, в т. ч. *L. plantarum* и *Leuconostoc mesenteroides*, обладают ферментативными системами (эстеразы,  $\beta$ -глюкозидазы, таниназы), позволяющими не только игнорировать, но и трансформировать определенные полифенольные структуры. Исследования показали, что ферментация растительных экстрактов с участием *L. plantarum* сопровождается увеличением содержания свободных фенольных кислот за счет гидролиза их гликозидных форм или эфирных связей с матрицей растительного материала [25]. Более того, отдельные метаболиты полифенолов, образующиеся в процессе бактериальной биотрансформации, могут обладать повышенной антиоксидантной активностью по сравнению с исходными соединениями [26].

Полифенолы растительного сырья влияют на окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и буферную емкость среды ферментации. Снижение ОВП, характерное для активной фазы роста микроорганизмов, может способствовать стабилизации лабильных фенольных соединений, тогда как присутствие определенных полифенолов способно модулировать редокс-статус, влияя на метаболические пути микроорганизмов и скорость ацидификации [27]. Высокая буферная емкость белковых и минеральных компонентов растительного сырья замедляет снижение pH, что, в свою очередь, сказывается на активности ферментов, росте дрожжей и подавлении патогенной микрофлоры.

Взаимодействие фитохимических компонентов с дрожжевой микрофлорой изучено в меньшей степени. Известно, что многие фенольные соединения обладают фунгистатической активностью: экстракты эхинацеи и шалфея в определенных концентрациях могут ингибировать рост *S. cerevisiae* за счет нарушения целостности клеточной мембраны и ингибирования дыхательных ферментов [28]. Кроме того, низкие концентрации отдельных полифенолов (например кверцетина) стимулируют метаболическую активность дрожжей, повышая скорость ферментации сахаров и продукцию ароматических соединений.

Несмотря на наличие отдельных исследований влияния растительных экстрактов на физико-химические показатели ржаных полуфабрикатов [29], систематизированные данные о механизмах воздействия нетрадиционного сырья на видовой состав, жизнеспособность и метаболический профиль микроорганизмов ржаных заварок остаются фрагментарными. Особенно малоизученными являются технологические процессы в условиях дискретного производственного цикла предприятий хлебопекарной промышленности, где параметры ферментации (температура, длительность, кратность освежения) варьируются в широких пределах.

Цель исследования – установить количественные закономерности влияния порошков коры дуба (*Q. robur*), травы эхинацеи пурпурной (*E. purpurea*), листа шалфея лекарственного (*S. officinalis*) и травы полыни горькой (*A. absinthium*) на динамику роста, кислотонакопление и метаболическую активность молочнокислых бактерий и дрожжей, культивируемых в ржаных заварках, с учетом варьирования технологических параметров (температуры и продолжительности) в дискретном режиме производства заварного хлеба.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- оценить влияние растительных добавок различной концентрации на кинетику ацидификации и профиль накопления органических кислот в модельных системах ржаных заварок;
- проанализировать жизнеспособность и метаболическую активность целевых штаммов микроорганизмов при варьировании состава фитохимических компонентов;
- выявить взаимосвязи между биохимическим составом растительного сырья, параметрами ферментации и функциональными свойствами заквасочной микрофлоры.

Актуальность работы обусловлена потребностью в научно обоснованных подходах к использованию нетрадиционного растительного сырья в технологии ржаных заквасок, позволяющих одновременно повышать пищевую ценность продукции, обеспечивать стабильность технологического процесса и расширять ассортимент хлебобулочных изделий функционального назначения.

Научная новизна исследования заключается в установлении количественных закономерностей влияния порошков коры дуба, эхинацеи пурпурной, шалфея и полыни горькой на кинетику роста молочнокислых бактерий и дрожжей в ржаных заварках при варьировании температуры (25–55 °C) и продолжительности (60–480 мин) ферментации, что позволяет целенаправленно регулировать биотехнологические процессы в дискретном производстве заварного хлеба.

#### Объекты и методы исследования

Объект исследования – сброженная заварка, полученная на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки в производственных условиях.

Для получения термофильной заквашенной заварки использовали чистую культуру молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrueckii* штамм 76 – промышленный стартер, традиционно применяемый в хлебопекарной отрасли для приготовления термофильных заквашенных заварок для заварных сортов хлеба.

Сброженную заварку синтезировали путем заваривания рецептурной смеси (ржаной заварки) из муки ржаной сеяной, солода ржаного неферментированного и порошков растительных добавок: коры дуба (до 0,180 % от массы муки), травы эхинацеи пурпурной (до 0,050 %), листа шалфея (до 0,140 %) или травы полыни горькой (до 0,015 %). Дозировки приведены по унифицированной рецептуре. Выбор добавок обусловлен их доступностью в регионе, признанным высоким содержанием полифенольных соединений (дуб, эхинацея), выраженными антимикробными свойствами (шалфей) и способностью модулировать пищеварение (полынь). Ранее данные растительные добавки не применялись системно для регулирования микробиоты ржаных заварок.

Содержание нетрадиционных сырьевых компонентов в рецептурной смеси устанавливали с учетом среднесуточного потребления хлебобулочных изделий и адекватного уровня потребления отдельных веществ, входящих в их состав (дубильных веществ – для порошка коры дуба; оксикоричных кислот – для травы эхинацеи пурпурной; эфирного масла – для листа шалфея; показателя горечи – для травы полыни горькой). Влажность ржаной заварки поддерживали на уровне 74–76 %. Затем ее подвергали осахариванию в течение 90 мин и естественному охлаждению до температуры заквашивания.

В дискретном режиме производства заварного хлеба заквашивание ржаной заварки осуществляли путем смешивания термофильной заквашенной заварки предыдущего приготовления и осахаренной заварки в соотношении 50:50. Температуру поддерживали на уровне 45–55 °C, продолжительность – от 60 до 480 мин. Полученную термофильную заквашенную заварку направляли на охлаждение. Сбраживание выполняли путем смешивания сброженной заварки и охлажденной термофильной заквашенной заварки в соотношении 50:50. Температуру поддерживали на уровне 25–35 °C, продолжительность – от 60 до 480 мин.

В мучной смеси с внесением нетрадиционных сырьевых компонентов для получения заварки оценивали следующие показатели безопасности: содержание гексахлорциклогексана – по ГОСТ 13496.20–2014; ДДТ и его метаболитов – по ГОСТ 13496.20–2014; кадмия и свинца – по ГОСТ 30178–96; мышьяка – по ГОСТ 31266–2004; ртути – по ГОСТ 33412–2015; обсемененность бактериями группы кишечной палочки (колиформы) – по ГОСТ 31747–2012, *Staphylococcus aureus* – по ГОСТ 31746–2012 и плесенью – по ГОСТ 10444.12–2013. Исследования проводили в Ветеринарно-

санитарном учреждении «Могилевская областная ветеринарная лаборатория» Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

Минеральный состав мучной смеси с внесением нетрадиционных сырьевых компонентов для получения заварки исследовали по содержанию фосфора (СТБ ISO 11885–2011), кальция (СТБ ISO 11885–2011), магния (СТБ ISO 11885–2011) и железа (ГОСТ 30178–96). Анализы выполнены в Республиканском унитарном предприятии «Научно-практический центр гигиены» Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

В термофильной заквашенной заварке определяли количество молочнокислых бактерий методом посева на питательные среды. Активность молочнокислых бактерий выявляли по методу М. П. Юргенсона и И. Ф. Романова, основанному на скорости изменения окраски красителя (с голубой на бесцветную). Кислотность термофильной заквашенной заварки анализировали титриметрическим методом.

В сброженной заварке устанавливали количество молочнокислых бактерий и дрожжей методом посева на питательные среды, активность молочнокислых бактерий, кислотность сброженной заварки и ее подъемную силу ускоренным методом.

Определение содержания органических кислот в сброженной заварке на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки с внесением нетрадиционных сырьевых компонентов проводили на базе лабораторий Республиканского унитарного предприятия «Научно-практический центр Национальной академии Наук Беларуси по продовольствию» (Республика Беларусь) по методике МВИ.МН 2769-2007, прошедшей метрологическую экспертизу.

Эксперименты выполняли в лабораториях кафедры технологии хлебопродуктов, технологии пищевых производств Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий (Могилев, Республика Беларусь) и Единого лабораторного комплекса Уральского государственного экономического университета (Екатеринбург, Россия). Опыты повторяли 3–5 раз. Результаты обрабатывали статистическими методами с доверительной вероятностью 0,95. Ошибка опыта не превышала 5,0 %.

Для установления зависимости показателей ржаных заварок от содержания нетрадиционных сырьевых компонентов с учетом изменения технологических параметров их приготовления в дискретном режиме производства заварного хлеба использовали статистическую универсальную графическую систему STATGRAPHICS Plus 5.0. В качестве влияющих факторов выбраны: содержание отдельных нетрадиционных сырьевых компонентов ( $X_1$ , % от массы муки по унифицированной рецептуре), температура заквашивания ( $X_2$ , °C), продолжительность заквашивания ( $X_3$ , мин), температура сбраживания ( $X_4$ , °C), продолжительность сбраживания ( $X_5$ , мин). В качестве кри-

териев оценки влияния указанных факторов служили: количество молочнокислых бактерий в термофильной заквашенной заварке ( $Y_1 \times 10^6$ , КОЕ/г), активность молочнокислых бактерий в термофильной заквашенной заварке ( $Y_2$ , мин), кислотность термофильной заквашенной заварки ( $Y_3$ , град.), количество молочнокислых бактерий в сброженной заварке ( $Y_4 \times 10^6$ , КОЕ/г), активность молочнокислых бактерий в сброженной заварке ( $Y_5$ , мин), кислотность сброженной заварки ( $Y_6$ , град.), количество дрожжей в сброженной заварке ( $Y_7 \times 10^6$ , КОЕ/г), подъемная сила сброженной заварки ( $Y_8$ , мин).

Анализ содержания органических кислот проводили в трех повторностях. Результаты представлены в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ( $M \pm SD$ ). Статистическую обработку выполняли с использованием однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA) с пост-хок критерием Тьюки. Различия считали значимыми при  $p < 0,05$ .

### Результаты и их обсуждение

Внесение нетрадиционных сырьевых компонентов – порошка коры дуба, травы эхинаеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой – в состав мучных смесей для получения заварки не должно ухудшать показатели безопасности продукции. В таблице 1 представлены результаты оценки показателей безопасности для образцов мучных смесей без внесения и с внесением указанных компонентов.

Анализ результатов, представленных в таблице 1, свидетельствует, что внесение в состав мучных смесей порошков коры дуба, травы эхинаеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой в исследуемых концентрациях не влияло на показатели безопасности.

Порошки указанных растительных компонентов содержат различные минеральные элементы, способные стимулировать развитие культивируемых микроорганизмов. В таблице 2 отражены результаты исследования содержания отдельных минеральных элементов в составе мучных смесей без внесения и с внесением нетрадиционных сырьевых компонентов.

Внесение нетрадиционных сырьевых компонентов в состав мучных смесей, используемых для получения ржаных заварок, даже в незначительных количествах способствовало увеличению содержания отдельных минеральных элементов, что служит дополнительным стимулирующим фактором для роста и развития культивируемых микроорганизмов.

Для установления зависимостей показателей ржаных заварок от содержания нетрадиционных сырьевых компонентов (добавок) с учетом изменения технологических параметров их приготовления в дискретном режиме производства заварного хлеба, а также для целенаправленного управления процессом заквашивания выполнены исследования по плану полного факторного эксперимента  $(3 \times 2)^2$ , состоящего из 12 опытов (табл. 3).

Таблица 1. Показатели безопасности мучных смесей с внесением растительных компонентов

Table 1. Flour mixes with and without experimental components: Safety indicators

| Показатель                                                    | Контроль<br>(без добавок) | Порошок   |                                |              |                         |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------|--------------------------------|--------------|-------------------------|
|                                                               |                           | Коры дуба | Травы<br>эхинацеи<br>пурпурной | Листа шалфея | Травы<br>полыни горькой |
| Гексахлорциклогексан, мг/кг                                   |                           |           |                                |              |                         |
| $\alpha$ -изомер                                              | н.о.                      | н.о.      | н.о.                           | н.о.         | н.о.                    |
| $\beta$ -изомер                                               | н.о.                      | н.о.      | н.о.                           | н.о.         | н.о.                    |
| $\gamma$ -изомер                                              | н.о.                      | н.о.      | н.о.                           | н.о.         | н.о.                    |
| ДДТ и его метаболиты, мг/кг                                   | н.о.                      | н.о.      | н.о.                           | н.о.         | н.о.                    |
| Кадмий, мг/кг                                                 | 0,012                     | 0,012     | 0,015                          | 0,013        | 0,012                   |
| Свинец, мг/кг                                                 | 0,022                     | 0,054     | 0,033                          | 0,030        | 0,026                   |
| Мышьяк, мг/кг                                                 | 0,050                     | 0,100     | 0,050                          | 0,048        | 0,049                   |
| Ртуть, мг/кг                                                  | 0,007                     | 0,006     | 0,005                          | 0,004        | 0,002                   |
| Бактерии группы кишечной палочки (колиформы) в 1,0 г продукта | н.о.                      | н.о.      | н.о.                           | н.о.         | н.о.                    |
| <i>Staphylococcus aureus</i> в 1,0 г продукта                 | н.о.                      | н.о.      | н.о.                           | н.о.         | н.о.                    |
| Плесень, КОЕ/г                                                | менее 10                  | менее 10  | менее 10                       | менее 10     | менее 10                |

Примечание: н.о. – не обнаружено.

Note: н.о. – not detected.

Таблица 2. Содержание минеральных элементов в мучных смесях с внесением растительных компонентов, мг/100 г

Table 2. Mineral content in flour mixes with added plant components, mg/100 g

| Минеральный элемент | Контроль<br>(без добавок) | Порошок        |                                |                |                         |
|---------------------|---------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|-------------------------|
|                     |                           | Коры дуба      | Травы<br>эхинацеи<br>пурпурной | Листа шалфея   | Травы<br>полыни горькой |
| Фосфор              | 239,00 ± 34,00            | 237,00 ± 34,00 | 247,00 ± 35,00                 | 245,00 ± 34,00 | 240,00 ± 34,00          |
| Кальций             | 92,70 ± 13,80             | 95,00 ± 14,20  | 99,20 ± 14,80                  | 98,20 ± 14,20  | 94,40 ± 13,80           |
| Магний              | 61,30 ± 6,10              | 60,10 ± 6,00   | 69,70 ± 7,00                   | 67,80 ± 6,10   | 62,30 ± 6,10            |
| Железо              | 1,61 ± 0,16               | 1,79 ± 0,18    | 2,10 ± 0,21                    | 1,95 ± 0,20    | 1,70 ± 0,18             |

Таблица 3. План и результаты эксперимента на стадии заквашивания ржаной заварки с порошком коры дуба

Table 3. Experimental design and results at the fermentation stage of scalded rye mix with oak bark powder

| Опыт | Содержание добавки ( $X_1$ ), % от массы муки | Температура ( $X_2$ ), °C | Продолжительность ( $X_3$ ), мин | Количество молочнокислых бактерий ( $Y_1 \times 10^6$ ), КОЕ/г | Активность молочнокислых бактерий ( $Y_2$ ), мин | Кислотность ( $Y_3$ ), град. |
|------|-----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|
| 1    | 0,00                                          | 45,0                      | 60,0                             | 1125,5                                                         | 120,0                                            | 7,8                          |
| 2    | 0,00                                          | 45,0                      | 480,0                            | 1545,5                                                         | 51,0                                             | 14,4                         |
| 3    | 0,00                                          | 55,0                      | 60,0                             | 977,7                                                          | 137,0                                            | 7,4                          |
| 4    | 0,00                                          | 55,0                      | 480,0                            | 1456,8                                                         | 69,0                                             | 11,7                         |
| 5    | 0,09                                          | 45,0                      | 60,0                             | 1183,1                                                         | 112,0                                            | 8,5                          |
| 6    | 0,09                                          | 45,0                      | 480,0                            | 1624,2                                                         | 41,0                                             | 15,3                         |
| 7    | 0,09                                          | 55,0                      | 60,0                             | 1033,3                                                         | 118,0                                            | 7,9                          |
| 8    | 0,09                                          | 55,0                      | 480,0                            | 1517,4                                                         | 54,0                                             | 12,9                         |
| 9    | 0,18                                          | 45,0                      | 60,0                             | 1256,2                                                         | 105,0                                            | 9,2                          |
| 10   | 0,18                                          | 45,0                      | 480,0                            | 1695,4                                                         | 36,0                                             | 16,2                         |
| 11   | 0,18                                          | 55,0                      | 60,0                             | 1144,4                                                         | 114,0                                            | 8,5                          |
| 12   | 0,18                                          | 55,0                      | 480,0                            | 1637,9                                                         | 46,0                                             | 14,9                         |

В качестве примера приведены результаты для порошка коры дуба – добавки, проявившей наибольший стимулирующий эффект. Экспериментальные данные для эхинацеи, шалфея и полыни (всего 48 опытов) обработаны по аналогичной схеме и легли в основу уравнений (4)–(12).

В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения (1)–(12) для определения количества молочнокислых бактерий в термофильной заквашенной заварке ( $Y_1 \times 10^6$ , КОЕ/г), их активности ( $Y_2$ , мин) и кислотности заварки ( $Y_3$ , град.) от содержания различных видов нетрадиционных сырьевых компонентов, температуры и продолжительности заквашивания ржаной заварки с учетом значимых коэффициентов: при внесении порошка коры дуба применимы уравнения (1)–(3); при внесении порошка травы эхинацеи пурпурной – уравнения (4)–(6); при внесении порошка листа шалфея – уравнения (7)–(9); при внесении порошка травы полыни горькой – уравнения (10)–(12).

$$Y_1 = (1789,95 - 463,33 \times X_1 - 16,07 \times X_2 + 0,45 \times X_3 + 0,0124 \times X_2 \times X_3) \times 10^6 \quad (1)$$

$$Y_2 = 66,88 + 38,89 \times X_1 + 1,42 \times X_2 - 0,20 \times X_3 + 432,10 \times X_1^2 - 4,44 \times X_1 \times X_2 \quad (2)$$

$$Y_3 = 9,95 - 11,83 \times X_1 - 0,062 \times X_2 + 0,032 \times X_3 - 0,00037 \times X_2 \times X_3 \quad (3)$$

$$Y_1 = (1761,72 - 458,86 \times X_1 - 15,50 \times X_2 + 0,57 \times X_3) \times 10^6 \quad (4)$$

$$Y_2 = 60,11 + 300,0 \times X_1 + 1,56 \times X_2 - 0,17 \times X_3 - 20,0 \times X_1 \times X_2 \quad (5)$$

$$Y_3 = 10,53 - 65,14 \times X_1 - 0,07 \times X_2 + 0,032 \times X_3 - 0,00037 \times X_2 \times X_3 \quad (6)$$

$$Y_1 = (1743,62 - 161,43 \times X_1 - 15,13 \times X_2 + 0,61 \times X_3 + 0,0093 \times X_2 \times X_3) \times 10^6 \quad (7)$$

$$Y_2 = 58,41 + 218,88 \times X_1 + 1,60 \times X_2 - 0,18 \times X_3 - 7,86 \times X_1 \times X_2 \quad (8)$$

$$Y_3 = 9,76 - 12,25 \times X_1 - 0,058 \times X_2 + 0,033 \times X_3 - 0,0004 \times X_2 \times X_3 \quad (9)$$

$$Y_1 = (1726,01 + 18333,0 \times X_1 - 14,77 \times X_2 + 0,47 \times X_3 + 0,012 \times X_2 \times X_3 - 356,88 \times X_1 \times X_2 + 294141,0 \times X_1^2) \times 10^6 \quad (10)$$

$$Y_2 = 52,95 + 2125,0 \times X_1 + 1,70 \times X_2 - 0,19 \times X_3 \quad (11)$$

$$Y_3 = 7,93 + 62,5 \times X_1 - 0,021 \times X_2 + 0,04 \times X_3 - 0,00054 \times X_2 \times X_3 \quad (12)$$

Для всех полученных зависимостей рассчитаны коэффициенты детерминации  $R^2$ , значения которых превышают 0,99.

Анализ уравнений (1), (4), (7) и (10) показывает, что характер влияния фитодобавок на количество молочнокислых бактерий ( $Y_1$ ) существенно различается. Максимальный прирост при внесении 0,18 % добавки достигался для коры дуба (уравнение (1), коэффициент  $+1695,4 \times 10^6$ ). Для эхинацеи пурпурной и шалфея (уравнения (4) и (7) соответственно) этот эффект выражен слабее и носит практически линейный характер. Напротив, полынь горькая (уравнение (10)) демонстрирует ярко выраженную нелинейность (наличие квадратичного члена  $(+294\,141,0 \times X_1^2)$  и высокого отрицательного перекрестного коэффициента  $(-356,88 \times X_1 \times X_2)$ , что свидетельствует о пороговом ингибирующем эффекте при концентрациях выше 0,015 %, особенно в сочетании с повышенной температурой заквашивания.

По показателям активности молочнокислых бактерий ( $Y_2$ ) и кислотности ( $Y_3$ ) кора дуба обеспечивала наиболее быстрое снижение активности ( $Y_2 = 36$  мин) и максимальное нарастание кислотности ( $Y_3 = 16,2$  град.) при концентрации 0,18 % и 480 мин ферментации. Для стадии сбраживания (уравнения (13)–(32)) максимальное количество бактерий ( $Y_4$ ) также отмечено при использовании коры дуба (уравнение (13)), тогда как эхинацея и шалфей давали близкие, но более низкие значения.

Таким образом, выбор фитодобавки должен определяться целевым направлением использования заварки: для максимального накопления биомассы молочнокислых бактерий и ускоренного кислотонакопления предпочтительна кора дуба; для сбраживания с сохранением активности микроорганизмов – эхинацея или шалфей; при использовании полыни горькой требуется строгий контроль концентрации (не более 0,015 %) во избежание ингибирования целевой микрофлоры. Полученные количественные зависимости ( $R^2 > 0,95$ ) позволяют прогнозировать показатели ржаных заварок ( $Y_1$ – $Y_8$ ) в дискретном режиме производства без дополнительных экспериментальных серий, что обеспечивает стабильность качества заварного хлеба.

Для установления зависимостей показателей сбраженной заварки от содержания нетрадиционных сырьевых компонентов с учетом изменения технологических параметров ее приготовления в дискретном режиме производства заварного хлеба, а также для целенаправленного управления процессом сбраживания проведены исследования по плану полного факторного эксперимента  $(3 \times 2)^2$ , состоящего из 12 опытов (табл. 4).

Аналогичные исследования по указанному плану полного факторного эксперимента выполнены для сбраженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки с порошками травы эхинацеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой.

Таблица 4. План и результаты эксперимента на стадии сбраживания ржаной заварки с порошком коры дуба

Table 4. Experimental design and results at the fermentation stage of scalded rye mix with oak bark powder

| Опыт | Содержание добавки ( $X_1$ ), % от массы муки | Температура ( $X_4$ ), °C | Продолжительность ( $X_5$ ), мин | Количество молочнокислых бактерий ( $Y_4 \times 10^6$ ), КОЕ/г | Активность молочнокислых бактерий ( $Y_5$ ), мин | Кислотность ( $Y_6$ ), град. | Количество дрожжей ( $Y_7 \times 10^6$ ), КОЕ/г | Подъемная сила ( $Y_8$ ), мин |
|------|-----------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1    | 0,00                                          | 25,0                      | 60,0                             | 1277,1                                                         | 115,0                                            | 10,2                         | 175,8                                           | 34,0                          |
| 2    | 0,00                                          | 25,0                      | 480,0                            | 1724,4                                                         | 67,0                                             | 15,4                         | 90,4                                            | 49,0                          |
| 3    | 0,00                                          | 35,0                      | 60,0                             | 1378,8                                                         | 96,0                                             | 11,0                         | 157,6                                           | 40,0                          |
| 4    | 0,00                                          | 35,0                      | 480,0                            | 1833,2                                                         | 50,0                                             | 16,2                         | 74,1                                            | 53,0                          |
| 5    | 0,09                                          | 25,0                      | 60,0                             | 1330,3                                                         | 110,0                                            | 9,6                          | 182,4                                           | 32,0                          |
| 6    | 0,09                                          | 25,0                      | 480,0                            | 1718,3                                                         | 70,0                                             | 13,8                         | 104,5                                           | 45,0                          |
| 7    | 0,09                                          | 35,0                      | 60,0                             | 1410,7                                                         | 91,0                                             | 10,6                         | 164,3                                           | 38,0                          |
| 8    | 0,09                                          | 35,0                      | 480,0                            | 1823,6                                                         | 53,0                                             | 15,2                         | 81,2                                            | 50,0                          |
| 9    | 0,18                                          | 25,0                      | 60,0                             | 1195,1                                                         | 135,0                                            | 8,8                          | 185,9                                           | 29,0                          |
| 10   | 0,18                                          | 25,0                      | 480,0                            | 1626,4                                                         | 71,0                                             | 12,6                         | 113,2                                           | 41,0                          |
| 11   | 0,18                                          | 35,0                      | 60,0                             | 1296,6                                                         | 115,0                                            | 9,6                          | 167,8                                           | 36,0                          |
| 12   | 0,18                                          | 35,0                      | 480,0                            | 1723,8                                                         | 57,0                                             | 13,8                         | 91,3                                            | 47,0                          |

Таблица 5. Содержание органических кислот в сброженной заварке с внесением растительных компонентов, г/кг

Table 5. Organic acids in fermented mix obtained from saccharified and thermophilic material with experimental components, g/kg

| Органическая кислота | Контроль (без добавок) | Порошок         |                          |                 |                      |
|----------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|----------------------|
|                      |                        | Коры дуба       | Травы эхинацеи пурпурной | Листа шалфея    | Травы полыни горькой |
| Щавелевая кислота    | $0,18 \pm 0,02$        | $0,12 \pm 0,01$ | $0,13 \pm 0,01$          | $0,04 \pm 0,01$ | $0,03 \pm 0,01$      |
| Винная кислота       | $0,40 \pm 0,03$        | $0,31 \pm 0,02$ | $0,32 \pm 0,02$          | $0,10 \pm 0,01$ | $0,10 \pm 0,01$      |
| Яблочная кислота     | $2,00 \pm 0,10$        | $0,51 \pm 0,05$ | $1,45 \pm 0,08$          | $0,06 \pm 0,01$ | $0,09 \pm 0,01$      |
| Молочная кислота     | $6,79 \pm 0,15$        | $5,21 \pm 0,12$ | $5,04 \pm 0,12$          | $3,60 \pm 0,10$ | $3,85 \pm 0,10$      |
| Уксусная кислота     | $0,20 \pm 0,02$        | $0,84 \pm 0,05$ | $0,85 \pm 0,05$          | $0,56 \pm 0,04$ | $0,40 \pm 0,03$      |
| Лимонная кислота     | $0,23 \pm 0,02$        | $0,14 \pm 0,01$ | $0,11 \pm 0,01$          | н.о.            | н.о.                 |
| Янтарная кислота     | $1,80 \pm 0,10$        | $1,14 \pm 0,06$ | $1,74 \pm 0,10$          | $0,71 \pm 0,04$ | $0,79 \pm 0,05$      |

Примечание: н.о. – не обнаружено.

Note: н.о. – not detected.

В результате обработки экспериментальных данных получены уравнения (13)–(32) для определения количества молочнокислых бактерий в сброженной заварке ( $Y_4 \times 10^6$ , КОЕ/г), их активности ( $Y_5$ , мин), кислотности заварки ( $Y_6$ , град.), количества дрожжей ( $Y_7 \times 10^6$ , КОЕ/г) и подъемной силы ( $Y_8$ , мин) от содержания различных видов нетрадиционных сырьевых компонентов, температуры и продолжительности сбраживания ржаной заварки с учетом значимых коэффициентов: при внесении порошка коры дуба применимы уравнения (13)–(17); при внесении порошка травы эхинацеи пурпурной – уравнения (18)–(22); при внесении порошка листа шалфея – уравнения (23)–(27); при внесении порошка травы полыни горькой – уравнения (28)–(32).

$$Y_4 = (983,71 + 1075,48 \times X_1 + 9,61 \times X_4 + 0,98 \times X_5 - 7876,54 \times X_1^2) \times 10^6 \quad (13)$$

$$Y_5 = 169,93 - 58,33 \times X_1 - 2,03 \times X_4 - 0,12 \times X_5 \quad (14)$$

$$Y_6 = 7,71 - 7,94 \times X_1 + 0,073 \times X_4 + 0,01 \times X_5 - 0,016 \times X_1 \times X_5 \quad (15)$$

$$Y_7 = (228,23 + 118,57 \times X_1 - 1,64 \times X_4 - 0,19 \times X_5 - 0,13 \times X_1 \times X_5) \times 10^6 \quad (16)$$

$$Y_8 = 17,73 - 45,24 \times X_1 + 0,58 \times X_4 + 0,043 \times X_5 - 0,033 \times X_1 \times X_5 - 0,00032 \times X_4 \times X_5 + 0,83 \times X_1 \times X_4 \quad (17)$$

$$Y_4 = (977,15 + 1822,57 \times X_1 + 9,62 \times X_4 + 0,99 \times X_5 - 57900,0 \times X_1^2 - 1,06 \times X_1 \times X_5) \times 10^6 \quad (18)$$

$$Y_5 = 164,77 + 42,86 \times X_1 - 1,78 \times X_4 - 0,10 \times X_5 - 0,55 \times X_1 \times X_5 \quad (19)$$

$$Y_6 = 7,29 - 7,43 \times X_1 + 0,082 \times X_4 + 0,013 \times X_5 - 840,0 \times X_1^2 \quad (20)$$

$$Y_7 = (227,16 - 264,0 \times X_1 - 1,60 \times X_4 + 0,88 \times X_1 \times X_5) \times 10^6 \quad (21)$$

$$Y_8 = 19,43 + 182,86 \times X_1 + 0,46 \times X_4 - 1,38 \times X_1 \times X_5 \quad (22)$$

$$Y_4 = (987,43 + 299,64 \times X_1 + 9,39 \times X_4 + 1,00 \times X_5 - 7086,73 \times X_1^2) \times 10^6 \quad (23)$$

$$Y_5 = 155,39 + 64,80 \times X_1 - 1,45 \times X_4 - 0,11 \times X_5 \quad (24)$$

$$Y_6 = 7,31 + 2,14 \times X_1 + 0,082 \times X_4 + 0,013 \times X_5 - 127,55 \times X_1^2 \quad (25)$$

$$Y_7 = (236,92 - 1,90 \times X_4 - 0,22 \times X_5 + 0,37 \times X_1 \times X_5) \times 10^6 \quad (26)$$

$$Y_8 = 20,32 + 0,43 \times X_4 - 0,48 \times X_1 \times X_5 \quad (27)$$

$$Y_4 = (969,43 + 12796,9 \times X_1 + 10,19 \times X_4 + 1,01 \times X_5 - 1,15 \times 10^6 \times X_1^2) \times 10^6 \quad (28)$$

$$Y_5 = 171,48 - 857,14 \times X_1 - 2,06 \times X_4 - 0,14 \times X_5 + 142578,0 \times X_1^2 \quad (29)$$

$$Y_6 = 8,0 - 47,32 \times X_1 + 0,063 \times X_4 + 0,009 \times X_5 - 0,15 \times X_1 \times X_5 \quad (30)$$

$$Y_7 = (229,83 + 2395,54 \times X_4 - 1,69 \times X_5 - 58203,1 \times X_1^2 + 1,32 \times X_1 \times X_5) \times 10^6 \quad (31)$$

$$Y_8 = 17,84 - 924,11 \times X_1 + 0,57 \times X_4 + 0,048 \times X_5 \quad (32)$$

Для всех полученных зависимостей рассчитаны коэффициенты детерминации  $R^2$ , значения которых превышают 0,95. Внесение нетрадиционных сырьевых компонентов в состав сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки оказывает влияние не только на количественный и качественный состав культивируемых специфических микроорганизмов, но и на профиль продуктов их метаболизма. В связи с этим исследован состав органических кислот, продуцируемых микроорганизмами сброженной заварки, преимущественно молочнокислыми бактериями, при использовании порошков нетрадиционных сырьевых компонентов (табл. 5).

Анализ результатов, представленных в таблице 5, свидетельствует, что внесение нетрадиционных сырьевых компонентов влияет на спектр органических кислот, продуцируемых микроорганизмами в сброженной заварке на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. В большинстве случаев содержание органических кислот снижалось при внесении нетрадиционных сырьевых компонентов, за исключением порошка травы эхинаеи пурпурной, применение которого сохраняло содержание яблочной и янтарной кислот практически на уровне контрольного образца (без добавок). Напротив, содержание уксусной кислоты возрастало при использовании всех исследуемых порошков – коры дуба, травы эхинаеи пурпурной,

листа шалфея и травы полыни горькой. Таким образом, внесение изучаемых компонентов расширяет вкусоароматический профиль сброженной заварки, полученной с использованием новых для хлебопекарной отрасли сырьевых компонентов.

Установленное в ходе экспериментов разнонаправленное изменение содержания молочной и уксусной кислот (табл. 5) отражает перестройку метаболических потоков в консорциуме микроорганизмов ржаной заварки под воздействием фитодобавок.

Для оценки достоверности различий между контрольным и опытными образцами проведен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). Установлено, что снижение содержания молочной кислоты при внесении шалфея (с 6,79 до 3,60 г/кг) статистически значимо ( $p < 0,05$ ). Различия между образцами с корой дуба и эхинацей по содержанию уксусной кислоты не являются значимыми ( $p > 0,05$ ), что позволяет рассматривать эти две добавки как взаимозаменяемые в отношении формирования ароматического профиля.

Снижение концентрации молочной кислоты (с 6,79 до 3,60–5,21 г/кг) может быть обусловлено несколькими факторами. Во-первых, полифенольные соединения, содержащиеся в коре дуба, шалфее и полыни, способны ингибировать лактатдегидрогеназу – ключевой фермент гомоферментативного молочнокислого брожения у *Lactobacillus plantarum* и *L. delbrueckii*. В результате часть метаболического потока переключается с образования молочной кислоты на продукцию уксусной кислоты, этанола и  $\text{CO}_2$  (гетероферментативный путь). Во-вторых, отдельные штаммы молочнокислых бактерий в стрессовых условиях (наличие полифенолов, повышенная осмотическая активность) могут активировать альтернативные пути регенерации НАД<sup>+</sup>, что также смещает баланс в сторону накопления уксусной кислоты.

Возрастание содержания уксусной кислоты (с 0,20 до 0,40–0,85 г/кг) связано не только с переключением метаболизма самих лактобацилл, но и с активацией дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. В присутствии фитодобавок (особенно эхинаеи и шалфея) дрожжи усиливают продукцию этанола, который затем окисляется до уксусной кислоты либо самими дрожжами (при ограничении кислорода), либо уксуснокислыми бактериями, присутствующими в заквасочном консорциуме. Кроме того, некоторые полифенолы (например эллаговая кислота в коре дуба) могут служить дополнительными акцепторами электронов, стимулируя образование уксусной кислоты как побочного продукта.

Полученные результаты согласуются с исследованием L. Piekarska-Radzik & E. Klewicka [23], в котором полифенолы растительного происхождения ингибировали гомоферментативное молочнокислое брожение у *Lactobacillus* spp. при сохранении общей жизнеспособности клеток. Аналогичный эффект описан для экстрактов дуба и шалфея в ферментационных системах на основе ржаной муки [17].

Однако в отличие от исследования E.-S. Lim & E.-W. Lee [22], где добавление растительных экстрактов приводило к подавлению как молочной, так и уксусной кислот, в данном исследовании зафиксировано разнонаправленное изменение: снижение молочной кислоты сопровождалось ростом содержания уксусной. Это различие может быть объяснено как видовым составом заквасочной микрофлоры (наличие активных гетероферментативных штаммов и дрожжей), так и спецификой дискретного режима производства, при котором накопление метаболитов происходит на фоне частичного сохранения закваски от предыдущего цикла.

Следовательно, полученные количественные зависимости расширяют представления о роли фитодобавок как регуляторов не только роста, но и метаболической активности заквасочной микрофлоры, что имеет значение для управляемого производства заварного хлеба с заданными органолептическими свойствами.

### Выводы

Опытным путем установлено, что образцы мучных смесей как без внесения, так и с внесением нетрадиционных сырьевых компонентов, используемые для получения ржаных заварок, соответствуют действующим требованиям по показателям безопасности и характеризуются улучшенным минеральным составом.

Определены новые зависимости, отражающие взаимосвязь между показателями жизнеспособности культивируемых микроорганизмов (дрожжей и молочнокислых бактерий), их активностью в сброженной заварке на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки и составом питательных смесей с добавлением новых для хлебопекарной отрасли видов растительного сырья, а также технологическими параметрами приготовления сброженной заварки. Выявленные зависимости позволяют регулировать биотехнологические процессы в ржаных полуфабрикатах в дискретном режиме производства заварного хлеба.

Доказано, что использование порошков коры дуба, травы эхинацеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой позволяет расширить вкусоароматический профиль сброженной заварки, приготовленной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, что способствует улучшению потребительских свойств заварного хлеба.

В работе не исследовалось влияние фитодобавок на органолептические свойства готового хлеба (вкус, аромат, цвет мякиша), что является предметом дальнейших исследований. Также не проводилась оценка антиоксидантной активности заварок. Обнаруженное увеличение содержания уксусной кислоты в 2,0–4,3 раза

позволяет предположить повышение микробиологической устойчивости готового хлеба. Данная гипотеза также требует экспериментальной проверки в последующих исследованиях. Перспективное направление – масштабирование зависимостей для промышленных заквасочных аппаратов с автоматическим поддержанием заданных параметров ферментации.

### Критерии авторства

О. В. Чугунова – руководство проектом, методологическое сопровождение, анализ и интерпретация полученных данных. Р. Т. Тимакова – разработка концепции и дизайна исследования, общий контроль за ходом практической работы, анализ данных. А. В. Акулич – формирование общей методологии, непосредственная практическая реализация экспериментальной части, обработка и анализ данных. Т. Д. Самуйленко – выполнение практических этапов работы, первичная систематизация и подготовка данных. Е. С. Лыбенко – проведение теоретического обзора, критический анализ литературы и обработка эмпирических данных. Все авторы внесли равноценный вклад в подготовку и проведение исследования.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Раскрытие использования ИИ

Совершенствование языка и стиля, улучшение читабельности, проверка грамматики и орфографии.

### Contribution

O.V. Chugunova supervised the project, provided the methodological support, analyzed the results, and interpreted the obtained data. R.T. Timakova developed the research concept and design, supervised the experimental work, and analyzed the results. A.V. Akulich developed the general research methodology, conducted the experiments, and processed and analysis. T.D. Samoylenko conducted the experiments, performed the initial systematization, and prepared the data. E.S. Lybenko wrote the review and processed the empirical data. All the authors made an equal contribution to the conception, design, and execution of this study.

### Conflict of interest

The authors state that there is no conflict of interest.

### Declaration of generative AI

The authors used AI to improve language and style, improve readability, and check grammar and spelling.

### Список литературы / References

1. Кандроков Р. Х., Фирсанова А. Р., Суворов О. А. Технология хлебобулочных изделий в виде бриоши из пшенично-льняно-рыжиковой муки. *Индустрия питания*. 2025. Т. 10. № 2. С. 15–23. [Kandrokova RKh, Firsanova AR,

Suvorov OA. Technology of bakery products in the form of brioche made from wheat, flax, and camelina flour. Food Industry. 2025;10(2):15–23. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2025-10-2-22>

2. Резниченко И. Ю., Мирошина Т. А. Оценка замены пшеничной муки на безглютеновую композицию в технологии печенья. Индустрия питания. 2025. Т. 10. № 3. С. 35–42. [Reznichenko IYu, Miroshina TA. Evaluation of the replacement of wheat flour with a gluten-free composition in the technology of cookies. Food Industry. 2025;10(3):35–42. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2025-10-3-4>

3. Кандроков Р. Х., Юрченко Т. И., Румянцева В. В. Разработка технологии хлебобулочных изделий с использованием цельнозерновой полбяной муки. Техника и технология пищевых производств. 2024. № 3. С. 598–609. [Kandrokov RKH, Yurchenko TI, Rumyantseva VV. Development of technology for bakery products using whole-grain spelt flour. Food Processing: Techniques and Technology. 2024;(3):598–609. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-3-2529>

4. Ладнова О. Л., Корячкина С. Я., Корячкин В. П., Большакова Л. С. Разработка технологии функциональных хлебобулочных изделий. Техника и технология пищевых производств. 2023. № 3. С. 576–590. [Ladnova OL, Koryachkina SYa, Koryachkin VP, Bolshakova LS. Development of technology for functional bakery products. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;(3):576–590. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-245>

5. Marek A, Stachowiak B, Kapusta I. Comparison of the antioxidant and sensorial properties of kvass produced from mountain rye bread with the addition of selected plant raw materials. Foods. 2024;13(3). <https://doi.org/10.3390/foods13030357>

6. Garcia-Llatas G, Barberá R, Faubel N. Oral phase coupled with *in vitro* dynamic gastrointestinal digestion for assessment of plant sterol bioaccessibility from wholemeal rye bread. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2024;72(28):15672–15679. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c02109>

7. Landberg R, Jonsson K, Iversen N. The effect of rye-based foods on postprandial plasma insulin concentration: The rye factor. Frontiers in Nutrition. 2022;9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.868938>

8. Dicksved J, Landberg R, Fristedt R. The effects of high fiber rye, compared to refined wheat, on gut microbiota composition, plasma short chain fatty acids, and implications for weight loss and metabolic risk factors (the RyeWeight study). Nutrients. 2022;14(8):1669–1669. <https://doi.org/10.3390/nu14081669>

9. Salvi D, Vincenzo S, Raffaella B. Functional foods and nutraceuticals in irritable bowel syndrome. Journal of Clinical Medicine. 2025;14(6):1830. <https://doi.org/10.3390/jcm14061830>

10. Rosnita T, Capozzi V, Teixeira A. Sourdough microbiome comparison and benefits. Microorganisms. 2021;9(7):1355. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071355>

11. Dertli E, Hasan C, Fereshteh F. Exploring the nutritional impact of sourdough fermentation: Its mechanisms and functional potential. Foods. 2024;13(11). <https://doi.org/10.3390/foods13111732>

12. Камартинова Д. Р., Китаевская С. В., Решетник О. А. Перспективы применения заквасок молочнокислых бактерий в технологии зернового хлеба из полбы. Индустрия питания. 2025. Т. 10. № 2. С. 46–56. [Kamardinova DR, Kitaevskaya SV, Reshetnik OA. Prospects for the use of lactic acid bacteria starter cultures in the technology of spelt grain bread. Food Industry. 2025;10(2):46–56. (In Russ.)] <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2025-10-2-5>

13. Savvaidis I, Saubenova M, Oleinikova Y. Sourdough microbiota for improving bread preservation and safety: Main directions and new strategies. Foods. 2025;14(14). <https://doi.org/10.3390/foods14142443>

14. Самуйленко Т. Д., Акулич А. В. Исследование процесса сбраживания жидкой ржаной заварки и определение технологических параметров для дискретного режима производства заварных сортов хлеба. Health, Food & Biotechnology. 2022. Т. 4. № 4. [Samuylenko TD, Akulich AV. Research of the fermentation process of liquid rye brew and determination of technological parameters for the discrete mode of production of brewed bread varieties. Health, Food & Biotechnology. 2022;4(4). (In Russ.)] <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i4.s142>

15. Murniece R. Scald fermentation time as a factor determining the nutritional and sensory quality of rye bread. Foods. 2025;14(6):979. <https://doi.org/10.3390/foods14060979>

16. Жаркова И. М., Росляков Ю. Ф., Иванчиков Д. С. Закваски спонтанного (естественного) брожения: особенности технологии и роль в современном хлебопекарном производстве. Техника и технология пищевых производств. 2023. № 3. С. 525–544. [Zharkova IM, Roslyakov YuF, Ivanchikov DS. Starters of spontaneous (natural) fermentation: Features of technology and role in modern bakery production. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;(3):525–544. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2455>

17. Кишилова С. А., Леонова В. А., Митрова В. А., Рожнова И. В. Современные биотехнологические решения в области использования молочнокислых бактерий для молочной промышленности: от селекции штаммов до пробиотических продуктов. Техника и технология пищевых производств. 2025. № 3. С. 624–633. [Kishilova SA, Leonova VA, Mitrova VA, Rozhnova IV. Modern biotechnological solutions in the field of using lactic acid bacteria for the dairy industry: From strain selection to probiotic products. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;(3):624–633. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-3-2596>

18. Чугунова О. В., Заворохина Н. В. Перспективы создания пищевых продуктов с заданными свойствами, повышающих качество жизни населения. Известия Уральского государственного экономического университета. 2014. № 5. С. 120–125. [Chugunova OV, Zavorokhina NV. Prospects for creating food products with predetermined properties that improve the quality of life. Journal of the Ural State University of Economics. 2014;5:120–125. (In Russ.)] <https://elibrary.ru/SYRRLR>

19. Сухих С. А., Иванова С. А., Бахтиярова А. Х., Пшеничников С. Е., Левада Е. В. и др. Цитотоксические, антиоксидантные и антибактериальные свойства экстрактов растений Восточной Прибалтики. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 4. С. 903–917. [Sukhikh SA, Ivanova SA, Bakhtiyarova AKh, Pshenichnikov SE, Levada KV, *et al.* Cytotoxic, antioxidant, and antibacterial properties of eastern baltic plant extracts. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(4):903–917. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-4-2615>
20. Люц В. А., Харлов С. Ю., Величкович Н. С., Проскурякова Л. А., Остапова Е. В. и др. Антимикробные свойства экстрактов *Pulmonaria officinalis*, *Heracleum sibiricum*, *Syringa vulgaris*, произрастающих в Сибири. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 3. С. 673–686. [Lutz VA, Harlov SYu, Velichkovich NS, Proskuryakova LA, Ostapova EV, *et al.* Antimicrobial properties of siberian wild plant extracts: *Pulmonaria officinalis*, *Heracleum sibiricum*, and *Syringa vulgaris*. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(3):673–686. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-3-2597>
21. Velichkovich NS, Dunchenko NI, Stepanova AA, Kozlova OV, Faskhutdinova ER, *et al.* Control of rye scolding microflora in discrete bread production. Foods and Raw Materials. 2025;13(2):219–232. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2025-2-649>
22. Lim E-S, Lee E-W. Quality characteristics of rye sourdough fermented with a mixed culture of probiotic lactic acid bacteria and yeast exhibiting potent antioxidant properties. Food Science and Preservation. 2025;32(2):232–245. <https://doi.org/10.11002/fsp.2025.32.2.232>
23. Piekarska-Radzik L, Klewicka E. Mutual influence of polyphenols and *Lactobacillus* spp. bacteria in food: A review. European Food Research and Technology. 2021;247:9–24. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03603-y>
24. Ștefănescu R, Ciurea CN, Mare AD, Man A, Nisca A, *et al.* *Quercus robur* older bark – a source of polyphenolic extracts with biological activities. Applied Sciences. 2022;12(22):11738. <https://doi.org/10.3390/app122211738>
25. Ozturk T, Ávila-Gálvez MÁ, Mercier Sylvie, Vallejo F. Impact of lactic acid bacteria fermentation on (poly) phenolic profile and *in vitro* antioxidant and anti-inflammatory properties of herbal infusions. Antioxidants. 2024;13(5):562. <https://doi.org/10.3390/antiox13050562>
26. Stanisavljević I, Stojičević S, Veličković D, Veljković V, Lazić M. Antioxidant and antimicrobial activities of Echinacea (*Echinacea purpurea* L.) extracts obtained by classical and ultrasound extraction. Chinese Journal of Chemical Engineering. 2009;17(3):478–483. [https://doi.org/10.1016/S1004-9541\(08\)60234-7](https://doi.org/10.1016/S1004-9541(08)60234-7)
27. Rossi L, Gabriele R, Lucini L, Rebecchi A. Antimicrobial potential of polyphenols: Mechanisms of action and microbial response – a narrative review. Antioxidants. 2025;14(2):200. <https://doi.org/10.3390/antiox14020200>
28. Yazgan H. Investigation of antimicrobial properties of sage essential oil and its nanoemulsion as antimicrobial agent. LWT. 2020;130:109669. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109669>
29. Timakova R, Akulich A, Samuilenko T. The role of biotechnology in ensuring the preservation of dry composite mixtures. E3s Web of Conferences. 2021;254:10018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125410018>

#### Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors

Чугунова Ольга Викторовна / Olga V. Chugunova ORCID 0000-0002-7039-4047; eLIBRARY SPIN 7452-2380  
Тимакова Роза Темерьяновна / Roza T. Timakova ORCID 0000-0002-4777-1465; eLIBRARY SPIN 7663-1784  
Акулич Александр Васильевич / Alexander V. Akulich ORCID 0000-0001-5973-6969; eLIBRARY SPIN 2594-6981  
Самуйленко Татьяна Дмитриевна / Tatyana D. Samuilenko ORCID 0000-0002-9649-9816  
Лыбенко Елена Сергеевна / Elena S. Lybenko ORCID 0000-0001-8853-1903; eLIBRARY SPIN 3688-0476