

УДК 60.44:664.64

Активация микроорганизмов хлебопекарных заквасок экстрактами биомассы мицелия грибов *Cordyceps militaris* и *Lentinula edodes*

Л. А. Козубаева, С. С. Кузьмина, Д. В. Минаков, Е. Ю. Егорова*

*Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Россия;

e-mail: egorovaeyu@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
02.06.2025;

получена
после доработки
14.07.2025;

принята
к публикации
19.08.2025

Ключевые слова:

пищевые
биотехнологии,
закваски, тесто,
Saccharomyces cerevisiae,
Lactobacillus,
Bifidobacterium,
активация,
экстракты,
Cordyceps militaris,
Lentinula edodes

Для цитирования

Своевременная и правильно организованная активация хлебопекарных заквасок является одним из важных технологических приемов, позволяющих обеспечить стабильное качество готовой продукции, сократить продолжительность созревания теста и повлиять на эффективность хлебопекарного производства в целом. Вышние грибы содержат ряд компонентов, способствующих биохимической активации бактерий и дрожжей. Цель работы – исследование влияния экстрактов грибов видов *C. militaris* и *L. edodes* на основных представителей микробиома хлебопекарных заквасок. Объектами исследования выступали водно-спиртовые и глицериновые экстракты, полученные из мицелия штаммов грибов *C. militaris* SRG4 и *L. edodes* 3790; прессованные хлебопекарные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae* "Люкс Экстра"; "Лактобактерин+" – жидкий концентрат живых активных бактерий гомо- и гетероферментативных штаммов *Lactobacillus plantarum*, *L. fermentum* и *L. casei*; "Бифидумбактерин" – лиофилизированный препарат бифидобактерий. В работе использованы стандартные приемы микробиологического анализа и отраслевые методы контроля сырья и полуфабрикатов хлебопекарного производства. Установлено, что внесение водно-спиртовых экстрактов мицелия грибов шиитак и кордицепс позволяет регулировать активность бродильной микрофлоры: для ускорения почкования дрожжей достаточно внести в закваску 0,5 % экстрактов мицелия шиитак и кордицепс, но этих количеств не достаточно для заметной активации молочнокислых бактерий. При внесении 3–4 % экстрактов (к массе закваски) обеспечивается активация молочнокислых бактерий, более интенсивное нарастание кислотности и повышение интенсивности газообразования в закваске, однако это тормозит активность развития хлебопекарных дрожжей. При внесении в закваски экстрактов мицелия грибов кордицепс отмечено незначительное подавляющее действие в отношении бифидобактерий. Полученные данные могут быть использованы для регуляции активности дрожжевого и молочнокислого брожения и изменения продолжительности операций созревания закваски и теста.

Козубаева Л. А. и др. Активация микроорганизмов хлебопекарных заквасок экстрактами биомассы мицелия грибов *Cordyceps militaris* и *Lentinula edodes*. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 4/2. С. 614–626. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-614-626>.

Activation of microorganisms of bakery starter cultures with extracts of biomass of mycelium of mushrooms *Cordyceps militaris* and *Lentinula edodes*

Lyudmila A. Kozubaeva, Svetlana S. Kuzmina, Denis V. Minakov, Elena Yu. Egorova*

*Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia;

e-mail: egorovaeyu@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Article info

Received
02.06.2025;

received
in revised form
14.07.2025;

accepted
19.08.2025

Key words:

food biotechnologies,
starter cultures,
dough,
Saccharomyces cerevisiae,
Lactobacillus,
Bifidobacterium,
activation, extracts,
Cordyceps militaris,
Lentinula edodes

For citation

Abstract

Timely and properly organized activation of baking starter cultures is one of the important technological techniques that ensure stable quality of finished products, shorten the duration of dough maturation and affect the efficiency of bakery production as a whole. Higher mushrooms contain a number of components that contribute to the biochemical activation of bacteria and yeast. The aim of the work is to study the effect of extracts of mushroom of the species *C. militaris* and *L. edodes* on the main representatives of the microbiome of bakery starter cultures. The objects of the study are alcohol and glycerin extracts obtained from mycelium of strains of mushrooms *C. militaris* SRG4 and *L. edodes* 3790; pressed baking yeast *Saccharomyces cerevisiae* "Lux Extra"; "Lactobacterin+" – a liquid concentrate of live active bacteria of homo- and heterofermentative strains *Lactobacillus plantarum*, *L. fermentum* and *L. casei*; "Bifidumbacterin" – lyophilized preparation of bifidobacteria. The work uses standard techniques of microbiological analysis and industry-specific methods of control of raw materials and semi-finished products of bakery production. It has been found that the introduction of water-alcohol extracts of the mycelium of shiitake and cordyceps makes it possible to regulate the activity of the fermenting microflora: to accelerate the budding of yeast, it is enough to add 0.5 % extracts of shiitake and cordyceps mycelium to the starter culture, but these amounts are not sufficient for the noticeable activation of lactic acid bacteria. When 3–4 % extracts are added (to the mass of the starter culture), lactic acid bacteria are activated, a more intense increase in acidity and an increase in the intensity of gas formation in the starter culture, but this slows down the activity of the baking yeast development. When extracts of mycelium of cordyceps have been added to starter cultures, a slight suppressive effect against bifidobacteria has been noted. The data obtained can be used to regulate the activity of yeast and lactic acid fermentation and to change the duration of the fermentation operations of the starter culture and dough.

Kozubaeva, L. A. et al. 2025. Activation of microorganisms of bakery starter cultures with extracts of biomass of mycelium of mushrooms *Cordyceps militaris* and *Lentinula edodes*. Vestnik of MSTU, 28(4/2), pp. 614–626. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-4/2-614-626>.

Введение

Многие продукты пищевых биотехнологий представляют собой результат комбинированного бактериального и дрожжевого брожения, основной целью использования которого является обеспечение быстрого и прогнозируемого хода процессов брожения, нивелирование непостоянства биохимических и технологических свойств основного сырья, стабилизация реологических свойств полуфабрикатов, предотвращение возможной микробиологической порчи и стабильное достижение гармоничных вкуса и запаха готовых продуктов и напитков. Ключевым моментом в большинстве таких технологий является способность некоторых кислотообразующих бактерий сбраживать сахара растительного и молочного сырья, тем самым наращивая активную кислотность пищевых систем и определяя как дальнейшее течение микробиологических и биохимических процессов, так и угнетение кислотоустойчивых микроорганизмов (включая патогенные и микроорганизмы порчи). Эти задачи решаются путем внесения в рецептурную массу заквасок или стартовых культур (*Bezie et al., 2019; García-Díez et al., 2021*).

В хлебопекарном производстве закваской называется производственный полуфабрикат, используемый на начальном этапе многофазных способов тестоприготовления и получаемый сбраживанием подготовленной питательной смеси или порции муки специально подобранным симбиозом молочнокислых бактерий или молочнокислых бактерий и хлебопекарных дрожжей (*Жаркова и др., 2023; Pérez-Alvarado et al., 2022*). Промышленно вырабатываемые закваски для производства хлебобулочных изделий имеют ограниченный состав микрофлоры, включающий дрожжи *Saccharomyces cerevisia* и бактерии родов *Lactobacillus* и *Bifidobacterium*. Бактерии в них являются активными кислотообразователями, а гетероферментативные виды *Lactobacillus* отвечают также за синтез многих аромат- и вкусоформирующих веществ выпечки (*Litwinek et al., 2022*). Непосредственное назначение закваски – перевод специфической бродильной микрофлоры теста в активное состояние, утверждение доминирующей микрофлоры (*Романов и др., 2016*).

Молочнокислые бактерии считаются штаммовзависимыми, привередливыми бактериями в отношении питательных веществ и требований к условиям окружающей среды (*Manzoor et al., 2017*), но в пищевых системах молочнокислые бактерии успешно выживают и конкурируют с другими видами микрофлоры. Так, большинство видов молочнокислых бактерий способны выдерживать повышенные концентрации вырабатываемого дрожжами спирта, а дрожжи, в свою очередь, устойчивы к молочной кислоте – основному продукту жизнедеятельности *Lactobacillus*. Поэтому в пищевых системах с внесением заквасок и численность дрожжей может быть на порядок ниже по сравнению с численностью молочнокислых бактерий (что дает бактериям конкурентное преимущество над дрожжами и приводит к опережению их роста), и рост дрожжей может существенно опережать рост бактерий (*Горина, 2000*). Преобладание дрожжей в микробиоме заквасок подавляет развитие необходимых для закваски лактобактерий и влияет на выработку ими молочной кислоты и других метаболитов (*Paramithiotis et al., 2006*), а увеличение производимых лактобактериями метаболитов, в свою очередь, может привести к подавлению роста клеток *S. cerevisiae* (*Narendranath et al., 2004*).

Для предотвращения нежелательных "перекосов" в составе микрофлоры пищевых систем одной из приоритетных задач исследований, направленных на повышение эффективности использования как чистых, так и стартовых культур микроорганизмов, является их активация. Ключевыми технологическими параметрами, наиболее часто применяемыми с целью воздействия на активность микробиома закваски, являются температура, pH и достаточность питательных веществ (*Bolarinwa et al., 2019; Manzoor et al., 2017*). В тесте с более активными клетками микроорганизмов более интенсивно протекают процессы осахаривания и газообразования, что обеспечивает возможность укороченного цикла тестоведения (*Соболева и др., 2011*). Правильно организованная активация позволяет снизить дозу закваски, сократить общую продолжительность ферментативных процессов, быстрее достичь необходимого значения кислотности и подавить нежелательную микрофлору (*Хатко и др., 2017; Nesterenko et al., 2012*).

К настоящему времени апробированы физические, химические и физико-химические условия активации микроорганизмов. К физическим факторам активации относят осмотический шок, воздействие пульсирующим давлением и электромагнитными полями – ультразвуком, лазерным излучением или низко- и сверхвысокочастотными излучениями (*Данилова и др., 2017; Карикурубу и др., 2015; Лукина, 2013; Gančytė et al., 2023; Karpenko et al., 2023; Nesterenko et al., 2012*). Воздействие разных типов электромагнитных полей рассматривается как один из доступных приемов управления метаболизмом микроорганизмов. Вместе с тем основным участником реакции микроорганизмов на внешние эффекты является клеточная мембрана, и чрезмерно интенсивное физическое или физико-химическое воздействие может вызывать ингибирующее действие на рост и размножение, повреждение мембран, выраженные нарушения гомеостаза и даже гибель клеток (*Gančytė et al., 2023; Sladicekova et al., 2021*). Однако пограничное состояние стресса при воздействии электромагнитными полями способно настолько перестроить направление и скорость метаболических процессов, протекающих в клетках микроорганизмов, что его следствием будут не только

изменение морфологических характеристик клеток и колоний, но и новый тип обмена веществ после адаптации к подобным стрессовым условиям (Al-hadedee et al., 2019; Hall et al., 2021). Например, обработка импульсным электрическим полем вызывает повышение проницаемости плазматических мембран микроорганизмов – электропорацию. Манипулирование параметрами электрического поля может привести к обратимым или необратимым изменениям жизнеспособности клеток, скорости регенерации плазматической мембраны и ее пор. При обратимой электропорации клетки остаются жизнеспособными даже после воздействия электрического импульса, но их метаболизм в результате адаптации подвергается изменениям (Gančytė et al., 2023). Как правило, при сравнении способности к адаптации разных групп микроорганизмов отмечаются более высокие адаптационные возможности хлебопекарных дрожжей (Randez-Gil et al., 2013).

К химической активации хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий обычно относят влияние повышенных концентраций веществ – стресс-провокаторов: этанола, кислот, кислорода, некоторых консервантов (Baez et al., 2014; van Bokhorst-van de Veen et al., 2011; Heunis et al., 2014; Ribeiro et al., 2021). Биохимическими способами активации микроорганизмов считаются введение ферментов и дополнительных веществ, необходимых для питания стартовой микрофлоры на начальном этапе роста (Попова и др., 2020; Резниченко и др., 2022; Хатко и др., 2017). В частности, рост бактерий *Lactobacillus plantarum* стимулируется внесением в закваску дополнительных источников азота – таких, как дрожжевые экстракты и гидролизаты, кукурузный экстракт с добавлением бисульфата аммония, подсырная сыворотка, солодовые экстракты зерновых культур, наиболее дефицитные аминокислоты, минеральные соли и др. (Byakika et al., 2020; Manzoor et al., 2017; Paliy et al., 2020). Маннаны и азот отмирающих дрожжевых клеток также оказывают ростостимулирующее действие в отношении разных штаммов *Lactobacillus* (Wang et al., 2021). Активация дрожжей наиболее часто реализуется внесением не содержащихся в муке сахаров (например, в составе мучной заварки) или дополнительным внесением осаживающих крахмал ферментов, либо дополнительным внесением дефицитных в питание дрожжей веществ, веществ-биостимуляторов типа янтарной кислоты, витаминно-аминокислотных смесей и веществ-антиоксидантов (Маслов и др., 2020; Ermakova et al., 2018; Karpenko et al., 2023).

Поскольку слабый рост микроорганизмов заквасок ведет к неэффективной работе внесенной микрофлоры, а при слишком быстром росте может происходить закисление пищевых масс, для каждого вида микроорганизмов закваски необходимо определять технологические параметры предлагаемого варианта стимуляции – режимы физического воздействия или дозировки веществ-активаторов.

Ранее в экспериментальных условиях изучена возможность активации хлебопекарных дрожжей *S. cerevisia* питательными компонентами измельченных плодовых тел вешенки обыкновенной. Подтверждено положительное влияние грибного порошка на подъемную силу и активность ферментов зимазного комплекса и мальтазы дрожжей (Маслов и др., 2020). В отношении заквасочных бактерий показано, что грибные полисахариды стимулируют рост штаммов *Lactobacillus* сильнее, чем коммерчески доступные пребиотики, такие как инулин или фруктоолигосахариды (Nowak et al., 2018). Биомассу мицелия некоторых грибов можно использовать в хлебопекарном производстве как дополнительный источник ферментов гидролитического и протеолитического действия, определяющих направление и скорость процессов созревания теста и формирования потребительских свойств хлебобулочных изделий (Козубаева и др., 2021; Минаков и др., 2022а; Минаков и др., 2022б; Yuan et al., 2017). Однако для некоторых видов грибов рыночная стоимость может быть настолько велика, что экономически более целесообразной становится их глубокая переработка с получением максимальной выгоды. В качестве подобных примеров можно привести возможность комплексной переработки биомассы мицелия высших грибов кордицепса (*Cordyceps militaris*) и шиитаке (*Lentinula edodes*), с экстракционным извлечением растворимых биологически активных компонентов и последующим выделением из отработанной биомассы ценных грибных полисахаридов – глюканов и хитозана (Минаков и др., 2023). При такой схеме переработки ценного грибного сырья в качестве компонента, используемого в целях биохимической активации микробиома хлебопекарных заквасок, можно было бы вносить в закваски получаемые экстракты. В частности, имеются данные о том, что экстракт грибов шиитаке при внесении его в молочные продукты повышал жизнеспособность и стимулировал ферментативную активность бактерий *Lactobacillus* и *Bifidobacterium* (Hassan et al., 2014).

Целью работы стало исследование возможности применения экстрактов из биомассы мицелия грибов кордицепс и шиитаке для активации роста клеток хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий, составляющих основу микробиома заквасок в условиях хлебопекарного производства.

Материалы и методы

Объектами исследований на разных этапах работы выступали:

- штаммы грибов *Cordyceps militaris* SRG4 и *Lentinula edodes* 3790 из коллекции кафедры органической химии Алтайского государственного университета;
- биомасса мицелия грибов *C. militaris*, выращенная на зерне красного риса, и биомасса мицелия грибов *L. edodes*, выращенная на зерне мягкой пшеницы. Биомассу мицелия грибов *C. militaris* и *L. edodes* выращивали, сушили и размалывали до дисперсности 0,02–0,10 мм в условиях, описанных ранее (Минаков и др., 2022б);

– экстракты водно-спиртовой (концентрация водного раствора спирта 50 об.%) и глицериновый, полученные при гидромодуле 1 : 10 из биомассы мицелия *C. militaris* и *L. edodes*. Экстракты готовили методом мацерации с периодическим перемешиванием при 22 ± 2 °C в течение 5 сут с отделением жидкого экстракта декантацией и последующей очисткой водно-спиртовых экстрактов от взвеси частиц мицелия фильтрованием (глицериновые экстракты не фильтровали вследствие повышенной вязкости) через бумажный фильтр марки ФБ-И по ГОСТ 12026-76¹;

– прессованные хлебопекарные дрожжи "Люкс Экстра" производства ООО "САФ-НЕВА" – биомасса живых клеток дрожжей *S. cerevisiae* (от 8 до 12×10^9 в 1 г);

– "Лактобактерин+" производства ООО "Био Лонг Лайф" – жидкий концентрат, симбиотический комплекс трех штаммов лактобактерий (биомасса живых активных бактерий гомо- и гетероферментативных штаммов *L. plantarum*, *L. fermentum* и *L. casei*, выращенных на питательной среде на основе гидролизата пищевого коллагена; общая концентрация живых клеток в 1 см³ – 10^8 ;

– "Бифидумбактерин" производства ЗАО "Экополис" – лиофилизированный препарат бифидобактерий (биомасса живых бактерий штамма *B. bifidum* 791; не менее 10^7 КОЕ в одной дозе/0,2 флакона);

– образцы жидкой ржаной закваски, приготовленные из обдирной ржаной муки, прессованных хлебопекарных дрожжей и молочнокислых или бифидобактерий, с добавлением водно-спиртового или глицеринового экстракта биомассы мицелия *C. militaris* и *L. edodes*. В контрольных вариантах жидкие ржаные закваски готовили без добавления экстрактов биомассы мицелия.

Выбор экстрагентов для получения экстрактов мицелия высших грибов – глицерина и водных растворов этилового спирта – обусловлен тем, что этанол относится к числу доказанных стресс-факторов, способствующих активации микроорганизмов, а глицерин является одним из веществ, участвующих в осморегуляции *S. cerevisiae*, и может быть использован дрожжевыми клетками и некоторыми видами лактобактерий в качестве дополнительных источников углерода (Jodłowski et al., 2021; Klein et al., 2017).

Выбор в качестве объектов исследования перечисленных микроорганизмов связан с тем, что хлебопекарные дрожжи *S. cerevisiae* являются компонентом ржаных заквасок, штаммы лактобактерий *L. plantarum*, *L. fermentum* и *L. casei* используются при выведении заквасок на основе пшеничной и ржаной муки и их смесей, а штаммы *B. bifidum* используются как одна из стартерных культур для приготовления заквасок на пшеничной муке (Романов и др., 2016). В зависимости от формы препарата возможно использование *B. bifidum* как без предварительной подготовки (жидкие препараты бактерий), так и в условиях регидратации и активизации (если используются лиофилизированные препараты).

Закваски для исследования готовили из 20 г ржаной обдирной муки, 40 мл воды температурой 30 °C, 2 г прессованных хлебопекарных дрожжей и 3 мл лактобактерина или бифидумбактерина. При температуре, приближенной к 30–40 °C, закваска получается более кислой, с большим количеством молочнокислых бактерий и меньшим количеством дрожжей, при 20–22 °C в ней будет больше дрожжей. В жидкой закваске больше дрожжей, но молочнокислых бактерий – примерно столько же либо чуть меньше, чем в густой. С учетом вышесказанного, для брожения приготовленную закваску выдерживали в термостате при температуре 35 ± 1 °C, имитируя 1-ю фазу созревания жидкой закваски.

Используемые в работе варианты приготовления заквасок: К_{СП} – закваска с добавлением 3 мл водно-спиртового экстракта биомассы мицелия *C. militaris*; К_{ГЛ} – закваска с добавлением 3 мл глицеринового экстракта биомассы мицелия *C. militaris*; Ш_{СП} – закваска с добавлением 3 мл водно-спиртового экстракта биомассы мицелия *L. edodes*; Ш_{ГЛ} – закваска с добавлением 3 мл глицеринового экстракта биомассы мицелия *L. edodes* (табл. 2, 3). При меньших количествах экстрактов в составе закваски не выявлено заметных изменений в динамике нарастания кислотности и объема закваски. Поэтому на этом этапе исследований применили повышенные дозировки экстрактов с целью усиления визуального эффекта их воздействия на объем заквасок.

Влияние экстрактов мицелия грибов на бродильную активность дрожжей и бактерий оценивали по динамике изменения объема и кислотности закваски. Кислотность закваски устанавливали по ГОСТ ISO 750-2013² потенциометрическим титрованием с расчетно-графической обработкой результатов. С целью изучения динамики изменения объема закваску помещали в мерный цилиндр, который оставляли в термостате в течение 180 мин. При этом через каждые 60 мин фиксировали объем закваски, производили перемешивание закваски и отбор проб.

В ходе экспериментальных исследований также изучали реакцию клеток микроорганизмов на внесение глицеринового или водно-спиртового экстракта биомассы мицелия *C. militaris* и *L. edodes*. Общее количество клеток в дрожжевых суспензиях (100 мл воды, 0,1 г дрожжей, 1 г сахара и 0,5 мл [0,5 %] или 1 мл [1,0 %] соответствующего экстракта, табл. 4) определяли подсчетом в 2-сеточной счетной камере Горяева (ООО "МиниМед", Россия), дрожжевую клетку с почкой считали за одну особь. Статистический лабораторный

¹ ГОСТ 12026-76. Бумага фильтровальная лабораторная. Технические условия. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/4975/?ysclid=mg7s5vkesv910202333>.

² ГОСТ ISO 750-2013. Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/55653/?ysclid=mg7s9m5oyj304219088>.

анализ дрожжевых суспензий осуществляли на лабораторном микроскопе Микромед 1. Фотографии препаратов клеток микроорганизмов выполнены на микроскопе модели ZEISS PrimoStar (Carl Zeiss, Германия) с планхроматическим объективом и окуляром с микрометрической шкалой с использованием цифровой камеры Zeiss Axiocam 105 color (Carl Zeiss, Германия). Фотографии обработаны с использованием компьютерной программы Scope Photo/×86/Scope.exe.

Все исследования реализованы в 3-кратной повторности, результаты обработаны с использованием программного приложения Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение

Лактобактерии, в частности, вид *L. plantarum*, являются естественным представителем микробиома некоторых высших грибов (Basyul et al., 2014). Данное явление свидетельствует о том, что в составе таких видов грибов нет компонентов, угнетающих лактобактерии или подавляющих их рост. Отмечено также, что природные штаммы бактерий *Lactobacillus*, выделенные из плодовых тел съедобных грибов, могут обладать высокой и средней антагонистической активностью по отношению к условно патогенным бактериям (Basyul et al., 2014). Рядом исследований было показано, что водно-спиртовые экстракты мицелия *C. militaris* не только проявляют высокую антиоксидантную активность, но могут проявлять и ингибирующую активность в отношении некоторых видов патогенных и условно-патогенных бактерий (Deshmukh et al., 2023; Eiamthaworn et al., 2022). Что касается глицериновых экстрактов, то подобных исследований не проводилось. Как нет и данных о возможном стимулирующем влиянии водно-спиртовых и глицериновых экстрактов *C. militaris* и *L. edodes* в отношении к технологически значимым видам микрофлоры хлебопекарных заквасок.

Скорость накопления кислот считается одним из наиболее характеристичных показателей активности микробиоты закваски (Teleky et al., 2020). Согласно результатам исследования, титруемая кислотность полученных экстрактов биомассы мицелия *C. militaris* и *L. edodes* варьировала в пределах от 0,6 до 3,2 град (табл. 1), в глицериновый экстракт извлекалось меньше кислореагирующих веществ. Однако на исходных значениях кислотности приготавливаемых заквасок внесение экстрактов мицелия грибов не отразилось: вне зависимости от варианта приготовления закваски все образцы заквасок характеризовались одинаковой начальной кислотностью – 1,6 град (табл. 2). Следовательно, в формировании общей (титруемой) кислотности заквасок до начала брожения присутствие в экстрактах кислореагирующих веществ значимой роли не играет.

Таблица 1. Кислотность водно-спиртовых и глицериновых экстрактов биомассы мицелия грибов *C. militaris* и *L. Edodes*

Table 1. Acidity of aqueous alcohol and glycerine extracts of *C. militaris* and *L. edodes* mushrooms mycelium biomass

Вариант растворителя	Кислотность полученных экстрактов, град	
	из мицелия <i>C. militaris</i>	из мицелия <i>L. edodes</i>
Водный раствор этанола 50 об.%	2,0	2,8
Глицерин 100 %	0,8	0,6

Вместе с тем добавление экстрактов оказало влияние на процесс созревания заквасок. Более заметное стимулирующее влияние на лактобактерии зафиксировано в вариантах созревания заквасок с внесением водно-спиртовых экстрактов шиитаке. Это проявилось как в опережающем контроле росте кислотности, так и в увеличении интенсивности газообразования, а впоследствии – на объеме закваски (особенно в начальный период брожения).

Стимуляции деятельности бифидобактерий при добавлении экстрактов не замечено, но следует отметить незначительное подавляющее действие в отношении бифидобактерий при внесении в закваски экстрактов *C. militaris*. В первый час экспозиции бактерии проявили свою активность, за счет чего титруемая кислотность подросла. Однако затем стало заметно ингибирующее действие компонентов экстрактов, что отразилось в снижении скорости накопления кислореагирующих веществ (табл. 2).

Таблица 2. Влияние вида экстракта и продолжительности брожения на кислотность закваски
Table 2. The effect of the extract type and the fermentation duration on the starter acidity

Вариант опыта	Кислотность закваски, град / Продолжительность брожения, мин							
	Закваски с препаратом "Лактобактерин+"				Закваски с препаратом "Бифидумбактерин"			
	0	60	120	180	0	60	120	180
КСП	1,6	3,8	4,0	4,4	1,6	4,2	4,2	4,4
КГЛ	1,6	3,6	3,8	4,6	1,6	4,2	4,2	4,2
ШСП	1,6	4,0	4,0	4,6	1,6	4,4	4,4	4,6
ШГЛ	1,6	3,8	4,2	4,8	1,6	4,0	4,2	4,4
Контроль	1,6	3,8	4,0	4,2	1,6	4,4	4,4	4,6

Считается, что в "молодых" заквасках недостаточно хорошо адаптировавшихся микроорганизмов не сформирован характерный комплекс вкусо-ароматических компонентов, к тому же такие закваски не способны выступить в качестве активного разрыхлителя. В активной закваске, напротив, отмечается повышенное газообразование, а также кисло-сладкий вкус и аромат, которые проявляются именно в результате брожения. Зрелой считается достигшая пика брожения закваска, что выражается в избыточно кислом вкусе и меньшем количестве пузырьков газа или, в целом, в разрушенной структуре.

Наращение кислотности закваски характеризует, прежде всего, активность молочнокислых бактерий, в то время как за наращивание объема закваски ответственны, главным образом, дрожжевые клетки. Особенно заметное увеличение объема закваски отмечено через 60 мин от начала брожения при добавлении спиртового экстракта *L. edodes* (табл. 3). Стимулирующее действие этого экстракта сохранялось в течение всей продолжительности эксперимента.

Таблица 3. Влияние вида экстракта и продолжительности брожения на объем закваски
Table 3. The effect of the extract type and the fermentation duration on the starter volume

Вариант опыта	Объем закваски, см ³ / Продолжительность брожения, мин							
	Закваски с препаратом "Лактобактерин+"				Закваски с препаратом "Бифидумбактерин"			
	0	60	120	180	0	60	120	180
К _{СП}	67	158	126	73	67	185	110	80
К _{ГЛ}	67	132	120	62	67	174	110	66
Ш _{СП}	67	175	110	70	67	190	110	76
Ш _{ГЛ}	67	150	115	70	67	162	92	58
Контроль	67	150	100	62	67	178	110	76

Водно-спиртовые экстракты *L. edodes*, в целом, обеспечивали более быстрое и активное газообразование. Стимулирующее действие водно-спиртовых экстрактов *C. militaris* в отношении симбиоза дрожжей и молочнокислых бактерий проявилось на более поздних стадиях брожения заквасок. Аналогичное стимулирующее действие грибные экстракты оказывали и в отношении симбиоза дрожжей с *B. bifidum*.

Глицериновые экстракты каждого из двух исследуемых видов грибов оказывали видимое ингибирующее действие на симбиоз хлебопекарных дрожжей как с *Lactobacillus*, так и с *B. bifidum*. Прежде всего, внесение глицериновых экстрактов шиитаке и кордицепса в закваски с бифидобактериями приводило к снижению активности газообразования (о чем свидетельствует уменьшение объема заквасок, табл. 3).

Скорость наращивания заквасочной биомассы активных клеток имеет значение как при введении в производственный цикл, так и в разводочном цикле при использовании чистых культур микроорганизмов. Скорость почкования клеток дрожжей определяет скорость и качество созревания полуфабрикатов хлебопекарного производства (Кузьмина и др., 2021). При подсчете количества дрожжевых клеток в суспензиях с внесением 0,5%-х водно-спиртовых экстрактов мицелия кордицепса и шиитаке обнаружено более активное их почкование с сохранением нормальной формы и размеров клеток, особенно через 120–180 мин экспозиции (табл. 4, рис.).

Таблица 4. Влияние вида и дозировки экстракта на почкование клеток *S. cerevisiae*
Table 4. The effect of the type and dosage of the extract on growth rate of *S. cerevisiae* cells

Вариант опыта / дозировка экстракта		Количество дрожжевых клеток в 1 см ³ , ×10 ⁶ , при продолжительности экспозиции, мин			
		0	60	120	150
К _{СП}	0,5 %	13,3	14,3	16,0	17,0
	1,0 %	13,3	11,0	12,3	13,8
К _{ГЛ}	0,5 %	13,3	13,8	14,0	14,3
	1,0 %	13,3	12,5	13,3	15,0
Ш _{СП}	0,5 %	13,3	18,0	19,5	20,0
	1,0 %	13,3	10,3	11,8	12,5
Ш _{ГЛ}	0,5 %	13,3	10,3	10,5	11,5
	1,0 %	13,3	10,8	10,8	11,9
Контроль		13,3	13,3	13,8	15,3

В то же время внесение глицериновых экстрактов К_{ГЛ} и Ш_{ГЛ} приводило к конгломерации и появлению скоплений клеток, существенно затрудняющих подсчет.

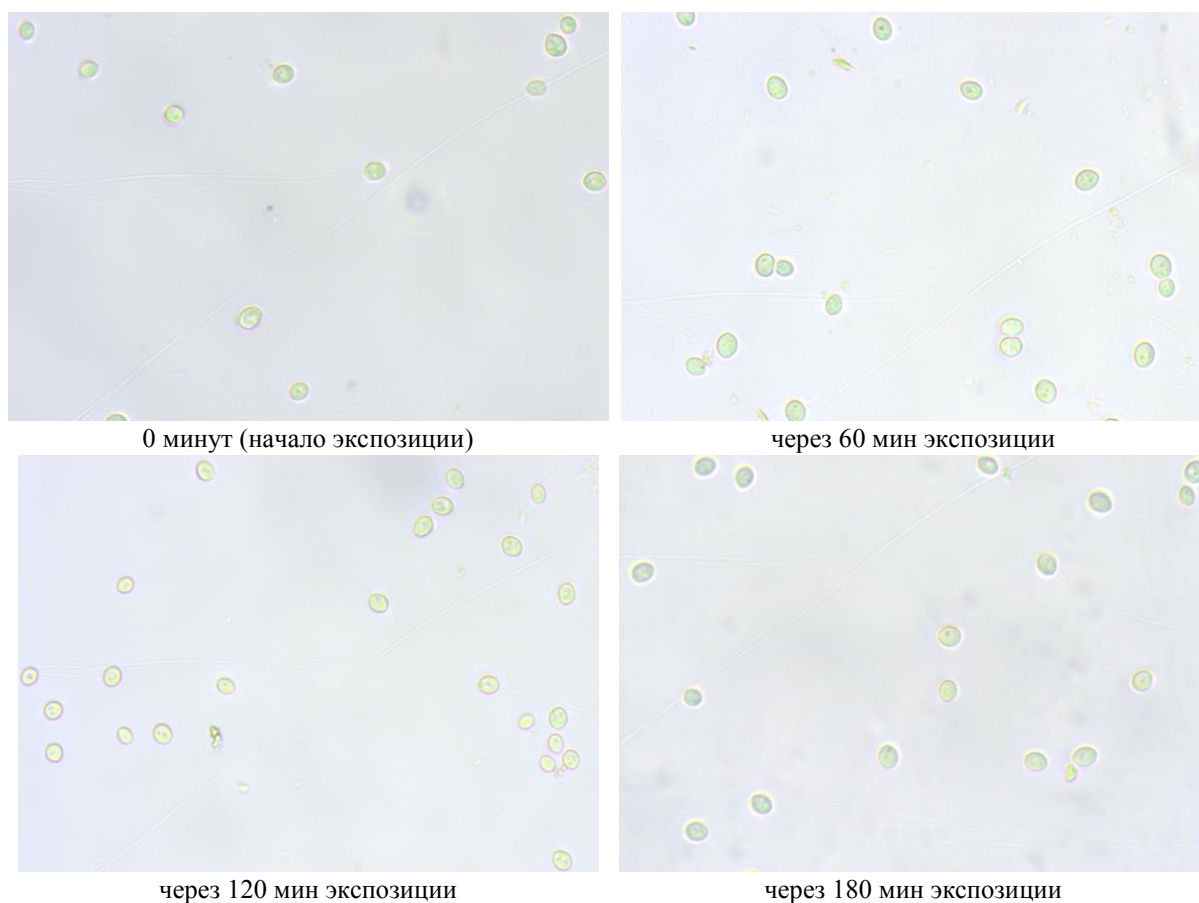


Рис. Фото клеток *S. cerevisiae* (400×) в суспензиях с внесением 0,5%-го водно-спиртового экстракта мицелия *C. militaris*

Fig. Photos of *S. cerevisiae* cells (400×) in suspensions with 0.5 % aqueous-alcohol extract of mycelium *C. militaris*

Заключение

Таким образом, внесение водно-спиртовых экстрактов мицелия грибов шиитакэ и кордицепс позволяет регулировать активность бродильной микрофлоры. Для ускорения почкования дрожжей достаточно внести в закваску 0,5 % рассматриваемых экстрактов, но этого количества будет не достаточно для заметной активации молочнокислых бактерий. При внесении 3–4 % экстрактов (к массе закваски) обеспечивается активация молочнокислых бактерий, и, как следствие, более интенсивное нарастание кислотности и повышение интенсивности газообразования в закваске. Результаты проведенного исследования могут быть использованы в практической деятельности хлебопекарных предприятий с целью регуляции активности дрожжевого и молочнокислого брожения и продолжительности созревания закваски и теста.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Горина В. А. Проблемные вопросы биологии молочнокислых бактерий вина. Симферополь : Таврия-Плюс, 2000. 104 с.
- Данилова А. Н., Пономарева М. С., Гернет М. В., Шабурова Л. Н. Влияние лазерного излучения на молочнокислые бактерии // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 12. С. 12–14. EDN: YMTKTD.
- 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. Т. 53, № 3. С. 525–544. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2455>. EDN: LQEJE.

- Карикурбу Ж.-Ф., Касьянов Г. И. Интенсификация технологии производства йогурта с предварительным активированием закваски электромагнитным полем крайне низкой частоты // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 108. С. 45–55. EDN: TROMEN.
- Козубаева Л. А., Кузьмина С. С., Егорова Е. Ю. Перспективы использования сушеного гриба *Boletus edulis* при разработке функциональных хлебобулочных изделий // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. 2021. № 4(60). С. 189–195. EDN: WSNCZL.
- Кузьмина С. С., Козубаева Л. А., Егорова Е. Ю. [и др.]. Активность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в условиях стресс-провокации плодово-ягодными экстрактами // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 4. С. 819–831. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-819-831>. EDN: NRHNCU.
- Лукина Д. В. Экономическая эффективность применения сверхвысокочастотной установки для теплового воздействия на прессованные дрожжи // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И. Я. Яковлева. 2013. № 2(78). С. 76–79. EDN: QBJPNF.
- Маслов А. В., Мингалеева З. Ш., Решетник О. А. Применение порошка вешенки для активации прессованных хлебопекарных дрожжей // Индустрия питания. 2020. Т. 5, № 4. С. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-4-6>. EDN: UFBVIR.
- Минаков Д. В., Козубаева Л. А., Кузьмина С. С., Егорова Е. Ю. Особенности созревания теста и формирования качества хлеба с биомассой мицелия *Armillaria mellea* // Хранение и переработка сельхозсырья. 2022а. № 1. С. 145–156. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.297>. EDN: KTPRQL.
- Минаков Д. В., Конева С. И., Егорова Е. Ю. Ферменты биомассы мицелия грибов *Cordyceps militaris* и *Lentinula edodes* в технологии хлеба // Техника и технология пищевых производств. 2022б. Т. 54, № 2. С. 222–235. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2502>. EDN: VWVPWF.
- Минаков Д. В., Минакова А. А., Маркин В. И., Базарнова Н. Г. [и др.]. Выделение, структура и физико-химические свойства хитин-глюкановых комплексов высших грибов // Химия растительного сырья. 2023. № 1. С. 313–322. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20230112519>. EDN: FQDQPD.
- Попова Н. В., Фаткуллин Р. И., Калинина И. В., Ксенофонтова Н. В. [и др.]. Исследование степени адаптации молочнокислых микроорганизмов в системе растительных напитков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8, № 1. С. 66–73. DOI: <https://doi.org/10.14529/food200108>. EDN: LJHEIC.
- Резниченко И. Ю., Акопьян Г. С., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В. Биологическая активация хлебопекарных дрожжей и возможность обогащения продукции хлебопечения пептидами // Health, Food & Biotechnology. 2022. Т. 4, № 3. С. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s146>. EDN: CCRHRO.
- Романов А. С., Ильина О. А., Иунихина В. С., Краус С. В. Хлеб и хлебобулочные изделия. Сырье, технологии, ассортимент. М. : ДеЛи плюс, 2016. 539 с.
- Соболева Е. В., Сергачева Е. С. Влияние ферментативной активности хлебопекарных дрожжей на интенсивность процессов тестоприготовления // Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. № 2. С. 329–336. EDN: OFXHXR.
- Хатко З. Н., Наумова Е. В. Влияние пектиновых веществ на активизацию производственных заквасок, используемых в производстве ржано-пшеничного хлеба // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 4. С. 35–42. EDN: ZWNPOZ.
- Al-hadedee L. T., Hasan S. K., Mousa E. F., Wurood F. A. Effect of magnetic field treatment on the milk characteristics with the presence of *Lactobacillus Plantarum* and *Lactobacillus Rhamnosus* GG bacteria // Plant Archives. 2019. Vol. 19, Iss. 1. P. 275–280.
- Baez A., Shiloach J. Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds // Microbial Cell Factories. 2014. Vol. 13. Article number: 181. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-014-0181-5>.
- Basyul O. V., Yamborko G. V., Ivanitsa V. O. Biological properties of lactobacilli – oyster mushroom residential microbiota representatives // Microbiology & Biotechnology. 2014. Iss. 2(26). Article number: 48258. DOI: [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2014.2\(26\).48258](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2014.2(26).48258).
- Bezie A., Regasa H. The role of starter culture and enzymes / Rennet for fermented dairy products manufacture. A review // Nutrition & Food Science International Journal. 2019. Vol. 9, Iss. 2. Article number: 555756. DOI: <https://doi.org/10.19080/NFSIJ.2019.09.555756>.
- Bolarinwa I. F., Hanis-Syazwani M. G., Muhammad K. Optimisation of important processing conditions for rice bran sourdough fermentation using *Lactobacillus plantarum* // Foods and Raw Materials. 2019. Vol. 7, N 1. P. 131–142. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-131-142>.
- Byakika S., Mukisa I. M., Byaruhanga Y. B. Sorghum malt extract as a growth medium for lactic acid bacteria cultures: A case of *Lactobacillus plantarum* MNC 21 // International Journal of Microbiology. 2020. Article number: 6622207. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6622207>.

- Deshmukh N., Lakshmi B. Antioxidant potential of *Cordyceps militaris* mycelium: A comparative analysis of methanol and aqueous extracts // Biosciences Biotechnology Research Asia. 2023. Vol. 20, Iss. 4. P. 1487–1499.
- Eiamthaworn K., Kaewkod T., Bovonsombut S., Tragoolpua Y. Efficacy of *Cordyceps militaris* extracts against some skin pathogenic bacteria and antioxidant activity // Journal of Fungi. 2022. Vol. 8, Iss. 4. Article number: 327. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8040327>.
- Ermakova A. M., Zinurova E. E., Levashov R. R., Mingaleeva Z. Sh. [et al.]. Study of complex additive use possibility to improve yeast and wheat bread quality // Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences. 2018. Vol. 5, Iss. 9. P. 9275–9281.
- Gančytė G., Šimonis P., Stirkė A. Investigation of osmotic shock effect on pulsed electric field treated *S. cerevisiae* yeast cells // Scientific Reports. 2023. Vol. 13. Article number: 10573. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37719-4>.
- García-Díez J., Saraiva C. Use of starter cultures in foods from animal origin to improve their safety // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18, Iss. 5. Article number: 2544. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18052544>.
- Hall R., Charlebois D. A. Lattice-based simulation of the effects of nutrient concentration and magnetic field exposure on yeast colony growth and morphology // Biological Physics. 2021. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.08121>.
- Hassan O. A., AbuGhazaleh A. A., Ibrahim S. A., Isikhuemhen O. S. [et al.]. Viability and α - and β -galactosidase activity of *Bifidobacterium breve* and *Lactobacillus reuteri* in yoghurt products supplemented with shiitake mushroom extract during refrigerated storage // International Journal of Dairy Technology. 2014. Vol. 67, Iss. 4. P. 570–576. DOI: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12151>.
- Heunis T., Deane S., Smit S., Dicks L. M. Proteomic profiling of the acid stress response in *Lactobacillus plantarum* 423 // Journal of Proteome Research. 2014. Vol. 13, Iss. 9. P. 4028–4039. DOI: <https://doi.org/10.1021/pr500353x>.
- Jodłowski G. S., Strzelec E. Use of glycerol waste in lactic acid bacteria metabolism for the production of lactic acid: State of the art in Poland // Open Chemistry. 2021. Vol. 19, Iss. 1. P. 998–1008. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0073>.
- Karpenko D., Grishin A. Yeast activation methods used in fermentation industries // New Advances in Saccharomyces / eds.: A. Morata, I. Loira, C. González, C. Escott. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1003283>.
- Klein M., Swinnen S., Thevelein J. M., Nevoigt E. Glycerol metabolism and transport in yeast and fungi: Established knowledge and ambiguities // Environmental Microbiology. 2017. Vol. 19, Iss. 3. P. 878–893. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13617>.
- Litwinek D., Boreczek J., Gambuś H., Buksa K. [et al.]. Developing lactic acid bacteria starter cultures for wholemeal rye flour bread with improved functionality, nutritional value, taste, appearance and safety // PLOS ONE. 2022. Vol. 17, Iss. 1. Article number: e0261677. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261677>.
- Manzoor A., Qazi J. I., ul Haq I., Mukhtar H. [et al.]. Significantly enhanced biomass production of a novel bio-therapeutic strain *Lactobacillus plantarum* (AS-14) by developing low cost media cultivation strategy // Journal of Biological Engineering. 2017. Vol. 11. Article number: 17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13036-017-0059-2>.
- Narendranath N. V., Power R. Effect of yeast inoculation rate on the metabolism of contaminating lactobacilli during fermentation of corn mash // Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology. 2004. Vol. 31. P. 581–584. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10295-004-0191-0>.
- Nesterenko A. A., Reshetnyak A. I. Activation of starter cultures induced by electromagnetic treatment // European Online Journal of Natural and Social Sciences. 2012. Vol. 1, Iss. 3. P. 45–48.
- Nowak R., Nowacka-Jechalke N., Juda M., Malm A. The preliminary study of prebiotic potential of Polish wild mushroom polysaccharides: the stimulation effect on *Lactobacillus* strains growth // European Journal of Nutrition. 2018. Vol. 57. P. 1511–1521. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1436-9>.
- Paliy A. P., Gujvinska S. A., Rodionova K. O., Alekseeva N. V. [et al.]. Enhanced cultivation technology for lacto and bifidobacteria // Ukrainian Journal of Ecology. 2020. Vol. 10, Iss. 3. P. 83–87.
- Paramithiotis S., Gioulatos S., Tsakalidou E., Kalantzopoulos G. Interactions between *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria in sourdough // Process Biochemistry. 2006. Vol. 41, Iss. 12. P. 2429–2433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.07.001>.
- Pérez-Alvarado O., Zepeda-Hernández A., Garcia-Amezquita L. E., Requena T. [et al.]. Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: Evaluation of postbiotic-like components and health benefits // Frontiers in Microbiology. 2022. Vol. 13. Article number: 969460. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.969460>.

- Randez-Gil F., Córcoles-Sáez I., Prieto J. A. Genetic and phenotypic characteristics of baker's yeast: Relevance to baking // *Annual Review of Food Science and Technology*. 2013. Vol. 4. P. 191–214. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182609>.
- Ribeiro R. A., Vitorino M. V., Godinho C. P., Bourbon-Melo N. [et al.]. Yeast adaptive response to acetic acid stress involves structural alterations and increased stiffness of the cell wall // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. Article number: 12652. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92069-3>.
- Sladicekova K., Bereta M., Misek J., Parizek D. [et al.]. Biological effects of a low-frequency electromagnetic field on yeast cells of the genus *Saccharomyces cerevisiae* // *Acta Medica Martiniana*. 2021. Vol. 21/2. P. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.2478/acm-2021-0006>.
- Teleky B-E., Martau G. A., Ranga F., Chetan F. [et al.]. Exploitation of lactic acid bacteria and baker's yeast as single or multiple starter cultures of wheat flour dough enriched with soy flour // *Biomolecules*. 2020. Vol. 10, Iss. 5. Article number: 778. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10050778>.
- van Bokhorst-van de Veen H., Abee T., Tempelaars M., Bron P. A. [et al.]. Short- and long-term adaptation to ethanol stress and its cross-protective consequences in *Lactobacillus plantarum* // *Applied and Environmental Microbiology*. 2011. Vol. 77, Iss. 15. P. 5247–5256. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00515-11>.
- Wang Y., Shen C., Huo K., Cai D. [et al.]. Antioxidant activity of yeast mannans and their growth-promoting effect on *Lactobacillus strains* // *Food & Function*. 2021. Vol. 21, Iss. 12. P. 10423–10431. DOI: <https://doi.org/10.1039/d1fo01470f>.
- Yuan B., Zhao L., Yang W., McClements D. J. [et al.]. Enrichment of bread with nutraceutical-rich mushrooms: Impact of *Auricularia auricula* (mushroom) flour upon quality attributes of wheat dough and bread // *Journal of Food Science*. 2017. Vol. 82, Iss. 9. P. 2041–2050. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13812>.

References

- Gorina, V. A. 2000. Problematic issues of the biology of wine lactic acid bacteria. Monograph. Simferopol. (In Russ.)
- Danilova, A. N., Ponomareva, M. S., Gernet, M. V., Shaburova, L. N. 2017. Effect of laser radiation on lactic acid bacteria. *Storage and Processing of Farm Products*, 12, pp. 12–14. EDN: YMTKTD. (In Russ.)
- Zharkova, I. M., Roslyakov, Yu. F., Ivanchikov, D. S. 2023. Sourdoughs of spontaneous (Natural) fermentation in modern bakery production. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(3), pp. 525–544. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2455>. EDN: LQEJE. (In Russ.)
- Karikurubu, J.-F., Kasyanov, G. I. 2015. Intensification of production yogurt technology with activation of the leaven with the electromagnetic field of low frequency. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 108, pp. 45–55. EDN: TROMEN. (In Russ.)
- Kozubaeva, L. A., Kuzmina, S. S., Egorova, E. Yu. 2021. Prospects for the use of dried *Boletus edulis* mushroom in the development of functional bakery products. *Proceedings of the Kyrgyz State Technical University named after I. Razzakov*, 4(60), pp. 189–195. EDN: WSNCZL. (In Russ.)
- Kuzmina, S. S., Kozubaeva, L. A., Egorova, E. Yu. et al. 2021. Effect of Berry Extracts on *Saccharomyces cerevisiae* Yeast. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(4), pp. 819–831. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-819-831>. EDN: NRHHCU. (In Russ.)
- Lukina, D. V. 2013. Economic efficiency of application of microwave installation for thermal treatment of compressed yeast. *I. Yakovlev Chuvash State Pedagogical University Bulletin*, 2(78), pp. 76–79. EDN: QBJPNF. (In Russ.)
- Maslov, A. V., Mingaleeva, Z. Sh., Reshetnik, O. A. 2020. Mushroom powder application of oyster mushroom for activation of pressed baking yeast. *Food Industry*, 5(4), pp. 38–44. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2020-5-4-6>. EDN: UFBVIR. (In Russ.)
- Minakov, D. V., Kozubaeva, L. A., Kuzmina, S. S., Egorova, E. Yu. 2022a. Features of dough maturation and bread quality formation with *Armillaria mellea* mycelium biomass. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, pp. 145–156. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.297>. EDN: KTPRQL. (In Russ.)
- Minakov, D. V., Koneva, S. I., Egorova, E. Yu. 2022b. Efficiency of the use of enzymes of mycelial biomass of mushrooms *Cordyceps militaris* and *Lentinula edodes* in bread technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 54(2), pp. 222–235. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-2-2502>. EDN: VWVPWF. (In Russ.)
- Minakov, D. V., Minakova, A. A., Markin, V. I., Bazarnova, N. G. et al. 2023. Isolation, structure and physico-chemical properties of chitin-glucan complexes of higher fungi. *Chemistry of Plant Raw Material*, 1, pp. 313–322. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcpm.20230112519>. EDN: FQDQPD. (In Russ.)
- Popova, N. V., Fatkullin, R. I., Kalinina, I. V., Ksenofontova, N. V. et al. 2020. Study of lactic acid microorganisms adaptation in plant-based beverages. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 8(1), pp. 66–73. DOI: <https://doi.org/10.14529/food200108>. EDN: LJHEIC. (In Russ.)

- Reznichenko, I. Yu., Akopyan, G. S., Tikhonov, S. L., Tikhonova, N. V. 2022. Biological activation of baker's yeast and the possibility of enrichment of bakery products with peptides. *Health, Food & Biotechnology*, 4(3), pp. 49–58. DOI: <https://doi.org/10.36107/hfb.2022.i3.s146>. EDN: CCRHRO. (In Russ.)
- Romanov, A. S., Il'ina, O. A., Iunikhina, V. S., Kraus, S. V. 2016. Bread and bakery products. Raw materials, technologies, assortment. Moscow. (In Russ.)
- Soboleva, E. V., Sergacheva, E. S. 2011. Influence of baking yeast enzyme activity on intensity of dough preparation processes. *Scientific Journal NRU ITMO. Series Processes and Food Production Equipment*, 2, pp. 329–336. EDN: OFXHXR. (In Russ.)
- Hatko, Z. N., Naumova, E. V. 2017. Influence of pectin substances on the activation of the production of starter cultures used in the production of rye bread. *Technologies of the Food and Processing industry of the AGRO-Industrial Complex-Healthy Food Products*, 4, pp. 35–42. EDN: ZWNPOZ. (In Russ.)
- Al-hadedee, L. T., Hasan, S. K., Mousa, E. F., Wurood, F. A. 2019. Effect of magnetic field treatment on the milk characteristics with the presence of *Lactobacillus Plantarum* and *Lactobacillus Rhamnosus* GG bacteria. *Plant Archives*, 19(1), pp. 275–280.
- Baez, A., Shiloach, J. 2014. Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds. *Microbial Cell Factories*, 13. Article number: 181. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12934-014-0181-5>.
- Basyul, O. V., Yamborko, G. V., Ivanitsa, V. O. 2014. Biological properties of lactobacilli – oyster mushroom residential microbiota representatives. *Microbiology & Biotechnology*, 2(26). Article number: 48258. DOI: [https://doi.org/10.18524/2307-4663.2014.2\(26\).48258](https://doi.org/10.18524/2307-4663.2014.2(26).48258).
- Bezie, A., Regasa, H. 2019. The role of starter culture and enzymes / Rennet for fermented dairy products manufacture. A review. *Nutrition & Food Science International Journal*, 9(2). Article number: 555756. DOI: <https://doi.org/10.19080/NFSIJ.2019.09.555756>.
- Bolarinwa, I. F., Hanis-Syazwani, M. G., Muhammad, K. 2019. Optimisation of important processing conditions for rice bran sourdough fermentation using *Lactobacillus plantarum*. *Foods and Raw Materials*, 7(1), pp. 131–142. DOI: <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2019-1-131-142>.
- Byakika, S., Mukisa, I. M., Byaruhanga, Y. B. 2020. Sorghum malt extract as a growth medium for lactic acid bacteria cultures: A case of *Lactobacillus plantarum* MNC 21. *International Journal of Microbiology*. Article number: 6622207. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6622207>.
- Deshmukh, N., Lakshmi, B. 2023. Antioxidant potential of *Cordyceps militaris* mycelium: A comparative analysis of methanol and aqueous extracts. *Biosciences Biotechnology Research Asia*, 20(4), pp. 1487–1499.
- Eiamthaworn, K., Kaewkod, T., Bovonsombut, S., Tragoolpua, Y. 2022. Efficacy of *Cordyceps militaris* extracts against some skin pathogenic bacteria and antioxidant activity. *Journal of Fungi*, 8(4). Article number: 327. DOI: <https://doi.org/10.3390/jof8040327>.
- Ermakova, A. M., Zinurova, E. E., Levashov, R. R., Mingaleeva, Z. Sh. et al. 2018. Study of complex additive use possibility to improve yeast and wheat bread quality. *Indo American Journal of Pharmaceutical Sciences*, 5(9), pp. 9275–9281.
- Gančytė, G., Šimonis, P., Stirkė, A. 2023. Investigation of osmotic shock effect on pulsed electric field treated *S. cerevisiae* yeast cells. *Scientific Reports*, 13. Article number: 10573. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37719-4>.
- García-Diez, J., Saraiva, C. 2021. Use of starter cultures in foods from animal origin to improve their safety. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5). Article number: 2544. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18052544>.
- Hall, R., Charlebois, D. A. 2021. Lattice-based simulation of the effects of nutrient concentration and magnetic field exposure on yeast colony growth and morphology. *Biological Physics*. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2107.08121>.
- Hassan, O. A., AbuGhazaleh, A. A., Ibrahim, S. A., Isikhuemhen, O. S. et al. 2014. Viability and α - and β -galactosidase activity of *Bifidobacterium breve* and *Lactobacillus reuteri* in yoghurt products supplemented with shiitake mushroom extract during refrigerated storage. *International Journal of Dairy Technology*, 67(4), pp. 570–576. DOI: <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12151>.
- Heunis, T., Deane, S., Smit, S., Dicks, L. M. 2014. Proteomic profiling of the acid stress response in *Lactobacillus plantarum* 423. *Journal of Proteome Research*, 13(9), pp. 4028–4039. DOI: <https://doi.org/10.1021/pr500353x>.
- Jodłowski, G. S., Strzelec, E. 2021. Use of glycerol waste in lactic acid bacteria metabolism for the production of lactic acid: State of the art in Poland. *Open Chemistry*, 19(1), pp. 998–1008. DOI: <https://doi.org/10.1515/chem-2021-0073>.
- Karpenko, D., Grishin, A. 2023. Yeast activation methods used in fermentation industries. In *New Advances in Saccharomyces*. Eds.: A. Morata, I. Loira, C. González, C. Escott. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.1003283>.

- Klein, M., Swinnen, S., Thevelein, J. M., Nevoigt, E. 2017. Glycerol metabolism and transport in yeast and fungi: Established knowledge and ambiguities. *Environmental Microbiology*, 19(3), pp. 878–893. DOI: <https://doi.org/10.1111/1462-2920.13617>.
- Litwinek, D., Boreczek, J., Gambuś, H., Buksa, K. et al. 2022. Developing lactic acid bacteria starter cultures for wholemeal rye flour bread with improved functionality, nutritional value, taste, appearance and safety. *PLOS ONE*, 17(1). Article number: e0261677. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261677>.
- Manzoor, A., Qazi, J. I., ul Haq, I., Mukhtar, H. et al. 2017. Significantly enhanced biomass production of a novel bio-therapeutic strain *Lactobacillus plantarum* (AS-14) by developing low cost media cultivation strategy. *Journal of Biological Engineering*, 11. Article number: 17. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13036-017-0059-2>.
- Narendranath, N. V., Power, R. 2004. Effect of yeast inoculation rate on the metabolism of contaminating lactobacilli during fermentation of corn mash. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 31, pp. 581–584. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10295-004-0191-0>.
- Nesterenko, A. A., Reshetnyak, A. I. 2012. Activation of starter cultures induced by electromagnetic treatment. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 1(3), pp. 45–48.
- Nowak, R., Nowacka-Jechalke, N., Juda, M., Malm, A. 2018. The preliminary study of prebiotic potential of Polish wild mushroom polysaccharides: the stimulation effect on *Lactobacillus* strains growth. *European Journal of Nutrition*, 57, pp. 1511–1521. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1436-9>.
- Paliy, A. P., Gujvinska, S. A., Rodionova, K. O., Alekseeva, N. V. et al. 2020. Enhanced cultivation technology for lacto and bifidobacteria. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3), pp. 83–87.
- Paramithiotis, S., Gioulatos, S., Tsakalidou, E., Kalantzopoulos, G. 2006. Interactions between *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria in sourdough. *Process Biochemistry*, 41(12), pp. 2429–2433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.07.001>.
- Pérez-Alvarado, O., Zepeda-Hernández, A., Garcia-Amezquita, L. E., Requena, T. et al. 2022. Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: Evaluation of postbiotic-like components and health benefits. *Frontiers in Microbiology*, 13. Article number: 969460. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.969460>.
- Randez-Gil, F., Córcoles-Sáez, I., Prieto, J. A. 2013. Genetic and phenotypic characteristics of baker's yeast: Relevance to baking. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, pp. 191–214. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030212-182609>.
- Ribeiro, R. A., Vitorino, M. V., Godinho, C. P., Bourbon-Melo, N. et al. 2021. Yeast adaptive response to acetic acid stress involves structural alterations and increased stiffness of the cell wall. *Scientific Reports*, 11. Article number: 12652. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92069-3>.
- Sladicekova, K., Bereta, M., Misek, J., Parizek, D. et al. 2021. Biological effects of a low-frequency electromagnetic field on yeast cells of the genus *Saccharomyces cerevisiae*. *Acta Medica Martiniana*, 21/2, pp. 34–41. DOI: <https://doi.org/10.2478/acm-2021-0006>.
- Teleky, B-E., Martau, G. A., Ranga, F., Chetan, F. et al. 2020. Exploitation of lactic acid bacteria and baker's yeast as single or multiple starter cultures of wheat flour dough enriched with soy flour. *Biomolecules*, 10(5). Article number: 778. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom10050778>.
- van Bokhorst-van de Veen, H., Abee, T., Tempelaars, M., Bron, P. A. et al. 2011. Short- and long-term adaptation to ethanol stress and its cross-protective consequences in *Lactobacillus plantarum*. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(15), pp. 5247–5256. DOI: <https://doi.org/10.1128/AEM.00515-11>.
- Wang, Y., Shen, C., Huo, K., Cai, D. et al. 2021. Antioxidant activity of yeast mannans and their growth-promoting effect on *Lactobacillus* strains. *Food & Function*, 21(12), pp. 10423–10431. DOI: <https://doi.org/10.1039/d1fo01470f>.
- Yuan, B., Zhao, L., Yang, W., McClements, D. J. et al. 2017. Enrichment of bread with nutraceutical-rich mushrooms: Impact of *Auricularia auricula* (mushroom) flour upon quality attributes of wheat dough and bread. *Journal of Food Science*, 82(9), pp. 2041–2050. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13812>.

Сведения об авторах

Козубаева Людмила Алексеевна – пр. Ленина, 46, г. Барнаул, Россия, 656038;
Институт биотехнологии, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: cosubaeva@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Lyudmila A. Kozubaeva – 46 Lenin Ave., Barnaul, Russia, 656038;
Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: cosubaeva@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5131-4654>

Кузьмина Светлана Сергеевна – пр. Ленина, 46, г. Барнаул, Россия, 656038;
Институт биотехнологии, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова, канд. техн. наук, доцент;
e-mail: svetlana.politeh@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

Svetlana S. Kuzmina – 46 Lenin Ave., Barnaul, Russia, 656038;
Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: svetlana.politeh@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0302-867X>

Минаков Денис Викторович – пр. Ленина, 61, г. Барнаул, Россия, 656049;
Институт химии и химико-фармацевтических технологий Алтайского государственного университета,
д-р техн. наук; e-mail: minakovd-1990@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4286-7783>

Denis V. Minakov – 61 Lenin Ave., Barnaul, Russia, 656049;
Institute of Chemistry and Chemo-Pharmaceutical Technologies, Altai State University, Dr Sci. (Engineering);
e-mail: minakovd-1990@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4286-7783>

Егорова Елена Юрьевна – пр. Ленина, 46, г. Барнаул, Россия, 656038;
Институт биотехнологии, пищевой и химической инженерии Алтайского государственного
технического университета им. И. И. Ползунова, д-р техн. наук, доцент;
e-mail: egorovaeyu@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>

Elena Yu. Egorova – 46 Lenin Ave., Barnaul, Russia, 656038;
Institute of Biotechnology, Food and Chemical Engineering, Polzunov Altai State Technical University,
Dr Sci. (Engineering), Associate Professor;
e-mail: egorovaeyu@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4990-943X>