

Е. Ю. Егорова, С. И. Конева

Алтайский государственный технический университет

им. И. И. Ползунова

(г. Барнаул, Российская Федерация)

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К АКТИВАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЮ СТАРТОВЫХ КУЛЬТУР В ХЛЕБОПЕКАРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Аннотация. В обзоре рассмотрены различные технологические приемы, основанные на физико-химических и биохимическим способах стимулирования-активации микрофлоры хлебопекарных заквасок, используемых для производства хлеба из ржаной, пшеничной и смеси ржаной и пшеничной муки. Отмечено, что в условиях хлебопекарного производства вновь становится популярным использование заквасок, микробиота которых представляет собой целенаправленные комбинации промышленных штаммов дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* и молочнокислых бактерий нескольких видов. В качестве научных подходов к активации хлебопекарных заквасок используются, прежде всего, дополнительное питание и обеспечение наиболее благоприятных условий роста с многостадийным выведением закваски. Показано, что многие факторы, способные оказать на клетки микрофлоры заквасок стимулирующее действие, исследуются независимо друг от друга, при этом значительные перспективы имеет изучение одновременного (комбинированного) воздействия на микроорганизмы закваски двух и более стимулирующих факторов.

Ключевые слова: биотехнологии, стартовые культуры, хлебопекарное производство, закваски, активация

MODERN APPROACHES TO ACTIVATION AND APPLICATION OF STARTER CULTURES IN THE BAKERY INDUSTRY

***Annotation.** The review examines various technological techniques based on physico-chemical and biochemical methods of stimulating and activating the microflora of baking starter cultures used to produce bread from rye, wheat and a mixture of rye and wheat flour. It is noted that in the conditions of bakery production, the use of starter cultures is becoming popular again, the microbiota of which is a targeted combination of industrial strains of yeast *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria of several species. As scientific approaches to the activation of baking starter cultures, first of all, additional nutrition and provision of the most favorable growth conditions with multi-stage fermentation are used. It is shown that many factors that can have a stimulating effect on the cells of the microflora of starter cultures are studied independently of each other, while the study of simultaneous (combined) effects of two or more stimulating factors on the microorganisms of the starter culture has significant prospects.*

***Keywords:** biotechnologies, starter cultures, bakery production, starter cultures, activation*

Для цитирования:

Егорова, Е. Ю. Современные подходы к активации и применению стартовых культур в хлебопекарном производстве/ Е. Ю. Егорова, С. И. Конева // Вестник биотехнологии. 2024. № 2.

Введение. Все современные пищевые биотехнологии основаны на использовании результатов работы определенным образом подобранных и воспроизводимых симбиозов микроорганизмов. Наиболее хорошо изученными примерами такого направленного промышленного использования «полезной» микрофлоры в пищевой промышленности являются производство сыров, кисломолочных продуктов и напитков, сырокопченых колбас, виноделие и производство квасов, хлебопекарное производство. Несмотря на то, что производство многих из перечисленных категорий продуктов возможно

и без применения специальных добавок микроорганизмов, использование микроорганизмов в большинстве случаев считается обоснованным и целесообразным, так как позволяет значительно улучшить органолептические достоинства, повысить усвояемость, а в ряде случаев — и продлить сохранность потребительских свойств готовой продукции [1].

Современные промышленные технологии производства каждой из приведенных в качестве примеров категорий ферментированных пищевых продуктов и напитков предусматривают введение в подготовленное пищевое сырье так называемых стартовых культур микроорганизмов, состав которых, как и питательная среда — субстрат, являются специфичными для конкретного вида производства. Прежде всего, стартовые культуры предназначены для ускоренного инициирования ферментации или сбраживания определенных компонентов сырья, для контроля последующих биохимических процессов и обеспечения стабильного качества готовой продукции от партии к партии. Кроме того, к важным эффектам использования подобных «инъекций микрофлоры» следует отнести возможность подавления развития нежелательной микрофлоры, способной вызвать дефекты и пороки качества в готовой продукции либо даже сделать её потребление небезопасным [2].

Стартовые культуры можно определить как специальные биопрепараты, содержащие живые клетки двух и более видов микроорганизмов, способных, в сочетании с собственными ферментными системами сырья, обеспечить нужное направление его биохимических преобразований — сбраживания или ферментации. Обычно микроорганизмы, выбранные в качестве стартовых культур, избирательно выделяются из естественной микробиоты традиционных продуктов, поскольку они хорошо адаптированы к этим условиям обитания и способны обеспечить характерный внешний вид, текстуру и вкусо-ароматические свойства продукта, способны контролировать порчу и патогенную микробиоту пищевых продуктов. Поскольку стартовые культуры микроорганизмов адаптированы к таким субстратам, они позволяют контролировать процесс ферментации для получения предсказуемых результатов. К тому же, отбор адаптированных микроорганизмов определяет микробиоту, не только способную размножаться в течение более длительного времени, но и способную сосуществовать в составе закваски [3]. Однако при выборе

микроорганизмов в качестве стартовой культуры необходимо провести надлежащее исследование их метаболизма и активности, поскольку в некоторых случаях эффекты и/или свойства микроорганизмов могут меняться в зависимости от технологических условий и рецептур продуктов. Кроме того, закваска должна быть признана безопасной, пригодной для производства в больших масштабах и оставаться жизнеспособной и стабильной при хранении [4].

К группам микроорганизмов, вносимых в подготовленное пищевое сырье в составе стартовых культур, относят некоторые бактерии, плесневые грибы и дрожжи. Основная функция бактериальной составляющей стартовых культур (как правило, представленной молочнокислыми бактериями) заключается в быстрой наработке молочной кислоты, необходимой для снижения рН и, как следствие, для подавления роста и развития микроорганизмов порчи и увеличения срока хранения ферментированных продуктов. В свою очередь, выработка микрофлорой стартовых культур других метаболитов — уксусной, пропионовой и бензойной кислоты, перекиси водорода или бактериоцинов — повышает микробиологическую безопасность пищевых продуктов, так как многие представители селективно выведенных стартовых культур способны проявлять антибиотическую активность по отношению к спороносным бактериям и плесневым грибам [2].

В хлебопечении работе микроорганизмов отводится одна из главных ролей. В микрофлоре хлебопекарных стартовых культур — заквасок — значительное внимание отводится молочнокислым бактериям, наряду с дрожжами имеющим ключевое значение в брожении теста. Собственно, закваской называют разновидность производственного полуфабриката, вносимую в тесто на начальном этапе его приготовления и получаемую сбраживанием подготовленной питательной смеси или порции муки специально подобранным симбиозом молочнокислых бактерий или молочнокислых бактерий и хлебопекарных дрожжей [5]. Соответственно, факторами, влияющими на качество работы закваски, могут выступать тип закваски, состав теста и его влажность, температура, кислотность [6]. В зависимости от выбранной технологической схемы, закваски могут выполнять функции биологического разрыхлителя или технологической добавки, обеспечивающей улучшение вкуса, текстуры и продление срока хранения хлеба [7].

Научный интерес, как и требования потребителей к способу реализации ферментации теста в условиях хлебопекарного предприятия, за последние годы значительно возросли. С одной стороны, технология производства хлеба на заквасках обеспечивает благоприятное воздействие на качество продукта, включая вкус и срок годности хлебобулочных изделий. С другой стороны, некоторые компоненты зерновых, особенно пшеничных и ржаных, которые, как известно, способны вызвать побочные реакции у определенных категорий потребителей, в процессе брожения теста на заквасках могут быть частично модифицированы или разложены. Такая микробная биомодификация не всегда желательных (типа глюкозы) либо потенциально опасных для потребителя компонентов (типа злакового глютена) позволяет снизить их вредное воздействие на человеческий организм, но важно помнить, что степень подобных ферментативных преобразований химического состава выпеченной продукции будет зависеть от состава микробиоты используемой закваски и условий технологической обработки теста. Достигаемое при использовании заквасок повышение величины рН работает и на усиление расщепления фитатов, что способствует повышению доступности минеральных веществ хлеба. Именно поэтому нередко утверждается, что переносимость, питательный состав, а, соответственно, и усвояемость, и потенциальное воздействие на здоровье потребителей хлеба на бактериальной закваске — выше по сравнению с хлебом, приготовленным только на хлебопекарных дрожжах [8–11].

Непосредственное назначение хлебопекарных заквасок — это быстрый перевод специфической бродильной микрофлоры теста в активное состояние, обеспечивающее желательное направление и скорость ферментации — брожения и созревания теста [12]. При этом различные технологические цели ферментации закваски — разрыхление, подкисление или улучшение качества теста — требуют разных условий ферментации. Как следствие, одной из важнейших задач современной хлебопекарной промышленности является подбор оптимальных условий подготовки стартовых культур микроорганизмов, или заквасок, обеспечивающих активацию микроорганизмов закваски и теста (высокую скорость накопления заквасочной биомассы активных клеток) в минимальные производственные сроки.

Своевременная и правильно организованная активация дает возможность снизить дозу закваски, сократить общую продолжительность процессов брожения и созревания теста, быстрее достичь необходимого значения кислотности теста.

Целью настоящего обзора является обобщение-систематизация научных данных о существующих подходах к подбору условий активации заквасок для хлебопекарного производства.

Материалы и методы исследования. Основные принятые в работе методы — методы систематизации и анализа литературных данных. При написании обзора использованы материалы публикаций из рецензируемых научных изданий (базы данных Elibrary, Google Scholar, Scopus, Web of Science) за последние 20 лет.

Результаты и обсуждение. Закваски традиционно использовались в качестве биологического разрыхлителя теста для разнообразной выпечки. Самые первые закваски готовились на основе зернового субстрата, обладающего собственным смешанным составом микрофлоры — содержащим штаммы диких дрожжей и бактерий, и имеющего срок годности в несколько недель.

Несмотря на то, что в 20 веке промышленное производство хлебопекарных дрожжей существенно потеснило границы использования заквасок, в настоящее время закваски используются в большинстве европейских технологий производства хлебобулочных изделий, и особенно важным считается применение заквасок в производстве хлебобулочных изделий на основе ржаной муки [11, 13, 14]. При работе пекарни на заквасках предусмотрено порционное использование долго зреющей, но регулярно освежаемой биомассы закваски, что должно обеспечивать поддержание её микробиоты в метаболически активном состоянии. Длительное созревание (иногда — годами) хлебопекарных заквасок неизменно приводит к формированию микробиоты закваски, специфичной для конкретных производственных условий и зависящей от вида муки или мучной смеси. Различные условия ферментации закваски в промышленных и кустарных условиях также приводят к различиям в составе микробиоты заквасок [7]. В частности, показано, что

в густых ржаных заквасках длительного ведения стартовые культуры постепенно вытесняются и начинают доминировать гетероферментирующие молочнокислые бактерии *Lactobacillus sanfranciscensis* и дикие дрожжи *Candida milleri* [15].

За последние десятилетия представления о предпочтительном составе хлебопекарных заквасок были существенно пересмотрены. В отечественном хлебопекарном производстве по способу формирования микробиома закваски подразделяют только на два типа: закваски спонтанного брожения и закваски с направленным культивированием микроорганизмов [16]. За рубежом закваски для хлебопекарного производства подразделяют на 4 типа.

На закваске I типа ферментация компонентов теста дрожжами и молочнокислыми бактериями, изначально присутствующими в любой муке, происходит самопроизвольно или спонтанно. По сути, такая закваска представляет собой водную суспензию пшеничной или ржаной муки (нередко цельнозерновой), которая самопроизвольно ферментируется собственными ферментами и сложной экосистемой присутствующих в муке диких дрожжей *Candida milleri* и бактерий, преобладающими в составе которых являются виды *Lactobacillus*, но присутствуют и представители родов *Pediococcus*, *Weissella*, *Carnobacterium* и *Leuconostoc* [9, 14]. Закваски на зерновом субстрате сохранили свое значение до настоящего времени благодаря их значительно более высокой активности по сравнению с лиофилизированными микроорганизмами и обезвоженными заквасками. Самые современные разработки в данной области относятся к получению безглютеновых заквасок типа I на основе риса, сорго и бобовых культур для использования в соответствующей безглютеновой выпечке [13, 17, 18]. Для выведения спонтанных заквасок используют пророщенное зерно, солод, фруктовую бражку, сухофрукты, хмель и другие добавки. Основным недостатком спонтанных заквасок является то, что их микробиота может содержать посторонние (включая патогенные) микроорганизмы, что идет вразрез с обеспечением пищевой безопасности готовой продукции [16].

При использовании заквасок II типа активное брожение теста начинается только после внесения специальной стартовой культуры из коммерческих штаммов чистых культур дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae* и *Saccharomyces*

chevalieri) и молочнокислых бактерий: в основном — *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus fermentum* и *Lactobacillus brevis* (наиболее часто — штаммы первых двух видов), реже, дополнительно к штаммам этих видов бактерий, — *Lactobacillus reuteri* и *Lactobacillus alimentarius* [9, 16, 19]. Такие закваски целенаправленно адаптированы и модифицированы для удовлетворения требований крупномасштабного и автоматизированного производства хлеба, как в России, так и за рубежом.

Наиболее подходящими для производства хлеба из сортовой и цельнозерновой ржаной муки признаны закваски на основе штаммов *Lactobacillus plantarum* и *Weissella confusa / cibaria* [9].

Тип III представляет собой просто обезвоженную закваску II типа. IV тип — это смешанный тип закваски с определённым соотношением микрофлоры заквасок I и II типа, выведенный в лабораторных условиях [20]. По другой версии, закваска IV типа — это все же спонтанно образующаяся закваска, получаемая путем смешивания муки и воды, с последующим обезвоживанием. III и IV типы заквасок пригодны к длительному хранению и перевозкам и предназначены для реализации хлебопекарным предприятиям, работающим по ускоренным технологиям производства хлеба, именно такие закваски широко используются в современных европейских пекарнях [21]. С сушеными заквасками легче работать, но стабильность находящихся в них культур микроорганизмов зависит от примененного способа обезвоживания, от температуры и относительной влажности при последующем хранении, доступа кислорода и физического состояния образца [22].

Поскольку производителями заквасок в наши дни является, по сути, несколько крупных биотехнологических компаний, поставляющих закваски по всему миру специализированными поставщиками, все более важной становится долгосрочная стабилизация таких препаратов, как правило — щадящими условиями сушки. В России большинство предприятий также использует в разводочном цикле сухие (лиофилизированные) закваски или жидкие дрожжи, полученные на основе чистых культур микроорганизмов коллекции ФГАНУ НИИХП [23]. При этом основной недостаток лиофилизированных заквасок состоит в том, что они не развивают необходимой метаболической активности при приготовлении обычного теста, поэтому для их использо-

вания в пекарнях требуется активация. Отмечается также, что лиофилизованные или пастеризованные препараты микроорганизмов не содержат достаточного количества жизнеспособных молочнокислых бактерий и используются в большей степени в качестве улучшителя выпечки, а не в качестве собственно закваски [13].

Существующие подходы к активации микрофлоры хлебопекарных заквасок можно условно подразделить на два типа, с учетом заложенных в основу метода физических, химических и биологических воздействий.

К физическим способам активации можно отнести стимуляцию пульсирующим давлением и различными видами электромагнитных полей — ультразвуком, лазерным излучением или низко- и сверхвысокочастотными излучениями [24–27]. К биохимическим способам активации микроорганизмов обычно относят использование ферментов и некоторых других веществ, имеющих стимулирующий характер воздействия на дрожжевую и / или бактериальную микрофлору [28–30] либо веществ для подавления нежелательной микрофлоры и / или активности ферментов самой муки — например, подкислением теста для ингибирования ржаных амилаз [4].

Поскольку закваски с направленным культивированием микроорганизмов относятся к мезофильным (ведутся при температурах 26–41 °С) и термофильным (48–50 °С, для заварных изделий), наиболее простым способом стимулирования размножения в них микроорганизмов является внесение на стадии подкормки-разводки дополнительных веществ, необходимых для питания стартовой микрофлоры на начальном этапе роста. В частности, показано, что определенную активацию метаболических процессов в дрожжевых клетках *Saccharomyces cerevisiae* обеспечивает внесение в закваску или дрожжевую суспензию некоторых пептидов, ферментативных гидролизатов [31] и культуральных жидкостей [32], осахаренной или неосахаренной заварки — в качестве легкодоступных сахаров для клеток дрожжей и бактерий, олигосахаридов или пектинов как субстрата для бактериальной микрофлоры закваски [28], концентратов биологически активных веществ плодово-ягодного сырья [33].

Важное влияние на метаболические взаимодействия и качество работы симбиоза хлебопекарных дрожжей и молочнокислых бактерий оказывает био-

химический состав муки и её дисперсность, так как это также влияет на скорость колонизации закваски микроорганизмами [34]. Не менее значимым технологическим фактором, при использовании заквасок III и IV типа, является скорость обезвоживания и последующего восстановления препарата стартовой культуры или закваски. В частности показано, что повысить жизнеспособность различных видов и штаммов дрожжей может медленная регидратация лиофилизованной закваски [35]. Определенное значение в активации микробиоты закваски имеет и подбор дополнительных культур микроорганизмов. Например, скорость и качество выведения закваски могут быть улучшены внесением определенных штаммов *Bifidobacterium bifidum* [36].

Перевод микробиоты закваски в стрессовые условия также способен оказать стимулирующее воздействие. В качестве наиболее изученных и разрешенных к использованию в хлебопекарной отрасли веществ — стресс-провокаторов, природа и концентрация которых способны изменить ход метаболических процессов в клетках микроорганизмов через экспрессию генов, называются этанол, хлористый натрий, различные органические кислоты [33], при этом основным объектом подобных стресс-стимуляций в исследованиях выступают дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*. В целом же, к факторам, вызывающим стимуляцию микробиоты через стресс, относят термический, осмотический, оксидативный, этанольный и кислотный — факторы, являющиеся одной из причин стимуляции накопления клетками микроорганизмов запасных питательных веществ [37–39].

Заключение. Анализ опубликованных научных данных показывает, что выбор, как условий применения, так и способа активации хлебопекарных заквасок определяется, прежде всего, составом микробиоты закваски и целями её применения. На сегодня известно достаточно много технологических приемов — таких, как освежение микрофлоры закваски или стимуляция её ферментной системы, различные способы физического и физико-химического, в том числе стрессового воздействия. Однако выведение общей формулы активации и повышения эффективности работы закваски не возможно, для каждого конкретных условий (состав мучной смеси, состав видов и штаммов микроорганизмов) необходимо подбирать собственные оптимальные режи-

мы активации. Многие факторы, способные оказать на клетки микрофлоры заквасок стимулирующее действие, исследуются независимо друг от друга, но определенный интерес представляет также изучение одновременного (комбинированного) воздействия на микроорганизмы закваски двух и более стимулирующих факторов.

Список литературы

1. *Durso, L.; Hutkins, R.* Starter Cultures. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition). 2003, 5583–5593. doi:10.1016/B0-12-227055-X/01146-9.

2. *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, 18: 2544. doi:10.3390/ijerph18052544.

3. *Соловьева, И. В.* Изучение биологических свойств новых штаммов рода *Lactobacillus* / И. В. Соловьева, А. Г. Точилина, Н. А. Новикова, И. В. Белова, Т. П. Иванова, К. Я. Соколова // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. — 2010. — № 2 (2). — С. 462–468.

4. *Miranda, C.; Contente, D.; Igrejas, G.; Câmara, S. P. A.; Dapkevicius, M. d. L. E.; Poeta, P.* Role of Exposure to Lactic Acid Bacteria from Foods of Animal Origin in Human Health. Foods. 2021, 10: 2092. doi:10.3390/foods10092092.

5. *Жаркова, И. М.* Закваски спонтанного (естественного) брожения: особенности технологии и роль в современном хлебопекарном производстве / И. М. Жаркова, Ю. Ф. Росляков, Д. С. Иванчиков // Техника и технология пищевых производств. — 2023. — № 53 (3). — С. 525–544. doi:10.21603/2074-9414-2023-3-2455.

6. *Chavan, R.; Chavan, S.* Sourdough technology – a traditional way for wholesome foods: A Review. Agricultural and Food Sciences. 2011, 10 (3), 169–182. doi:10.1111/J.1541-4337.2011.00148.X.

7. *Gänzle, M. G.; Zheng, J.* Lifestyles of sourdough lactobacilli — Do they matter for microbial ecology and bread quality? International Journal of Food Microbiology. 2019, 302, 15–23. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.019.

8. *D'Amico, V.; Gänzle, M.; Call, L.; Zwirzitz, B.; Grausgruber, H.; D'Amico, S.; Brouns, F.* Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits? *Frontiers in Nutrition*. 2023, 20 (10): 1230043. doi:10.3389/fnut.2023.1230043. eCollection2023.
9. *Litwinek, D.; Boreczek, J.; Gambuś, H.; Buksa, K.; Berski, W.; Kowalczyk, M.* Developing lactic acid bacteria starter cultures for wholemeal rye flour bread with improved functionality, nutritional value, taste, appearance and safety. *PLoS ONE*. 2022, 17 (1): e0261677. doi:10.1371/journal.pone.0261677.
10. *Pérez-Alvarado, O.; Zepeda-Hernández, A.; Garcia-Amezquita, L.E.; Requena, T.; Vinderola, G.; García-Cayuela, T.* Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: Evaluation of postbiotic-like components and health benefits. *Frontiers in Microbiology*. 2022, 13:969460. doi:10.3389/fmicb.2022.969460.
11. *Rizzello, C. G.; Portincasa, P.; Montemurro, M.; Di Palo, D. M.; Lorusso, M. P.; De Angelis, M.; Bonfrate, L.; Genot, B.; Gobbetti, M.* Sourdough Fermented Breads are More Digestible than Those Started with Baker's Yeast Alone: An In Vivo Challenge Dissecting Distinct Gastrointestinal Responses. *Nutrients*. 2019, 4,11(12):2954. doi:10.3390/nu11122954.
12. *Романов, А. С.* Хлеб и хлебобулочные изделия. Сырье, технологии, ассортимент / А. С. Романов, О. А. Ильина, В. С. Иунихина, С. В. Краус. — М.: ДеЛи плюс, 2016. — 539 с.
13. *Gänzle, M. G.* BREAD. Sourdough Bread *Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition)* // Eds.: Carl A. Batt, Mary Lou Tortorello. 2014, 309–315. doi:10.1016/B978-0-12-384730-0.00045-8.
14. *Koistinen, V.M.; Mattila, O.; Katina, K.; Poutanen, K.; Aura, A.-M.; Hanhineva, K.* Metabolic profiling of sourdough fermented wheat and rye bread. *Scientific Reports*. 2018, 8:5684. doi:10.1038/s41598-018-24149-w.
15. *Кузнецова, Л. И.* Влияние микробного состава стартовых композиций на качество ржаных густых заквасок и хлеба / Л. И. Кузнецова, М. Н. Локачук, М. С. Бурыкина, О. И. Савкина // *Хлебопечение России*. — 2022. — № 2. — С. 14–20. doi:10.37443/2073-3569-2022-1-2-14-20.
16. *Савкина, О. А.* Классификация заквасок, применяемых в отечественном и зарубежном хлебопечении / О. А. Савкина, М. Н. Локачук, Л. И. Кузне-

цова, Е. Н. Павловская, О. И. Парахина, В. В. Мартиросян, М. Н. Костюченко // Хлебопечение России. — 2022. — № 5. — С. 22–28. doi:10.37443/2073-3569-2022-1-5-22-28.

17. *Lazo-Vélez M. A.; Garzon, R.; Guardado, D.; Serna-Saldivar, S. O.; Rosell, C. M.* Selenized chickpea sourdoughs for the enrichment of breads. *LWT*. 2021, 150: 112082. doi:10.1016/j.lwt.2021.112082.

18. *Susman, I.-E.; Schimbator, M.; Stamatie, G.; Culetu, A.; Dobre, A.; Multescu, M.; Popa, M. E.* Sourdough fermentation in gluten-free bread: a shelf-life improvement. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*. 2021, XXV (2), 61–69.

19. *Гурьев, С. С.* Изучение свойств заквасок, приготовленных на основе нетрадиционных видов муки / С. С. Гурьев, В. С. Попов // *Техника и технология пищевых производств*. 2021, 51 (3), 470–479. doi:10.21603/2074-9414-2021-3-470-479.

20. *Siepmann, F. B.; Ripari, V.; Waszczynskyj, N.; Spier, M. R.* Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. *Food and Bioprocess Technology*. 2018, 11, 242–270. doi:10.1007/s11947-017-1968-2.

21. *Papadimitriou, K.; Zoumpoulou, G.; Georgalaki, M.; Alexandraki, V.; Kazou, M.; Anastasiou, R.; Tsakalidou, E.* Sourdough Bread. *Innovations in Traditional Foods* // Eds.: C.M. Galanakis. Woodhead Publishing. 2019, 127–158. doi:10.1016/B978-0-12-814887-7.00006-X.

22. *Foerst, P.; Santivarangkna, C.* Advances in starter culture technology: focus on drying processes. *Advances in Fermented Foods and Beverages Improving Quality, Technologies and Health Benefits*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2015, 249–270. doi:10.1016/B978-1-78242-015-6.00011-6.

23. *Локачук, М. Н.* Коллекции микроорганизмов для хлебопекарной промышленности ФГАНУНИИХП / М. Н. Локачук, О. А. Савкина, Е. Н. Павловская, Л. И. Кузнецова // *Пищевые технологии будущего: инновационные идеи, научный поиск, креативные решения: сборник материалов V Международной научно-практической молодежной конференции*. — Москва, 2023. — С. 165–169.

24. *Nesterenko, A. A.; Reshetnyak, A. I.* Activation of starter cultures induced by electromagnetic treatment. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*. 2012, 1 (3), 45–48.

25. Данилова, А. Н. Влияние лазерного излучения на молочнокислые бактерии/ А. Н. Данилова, М. С. Пономарева, М. В. Гернет, Л. Н. Шабурова // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2017. — № 12. — С. 12–14.
26. *Карикурубу, Ж.-Ф.* Интенсификация технологии производства йогурта с предварительным активированием закваски электромагнитным полем крайне низкой частоты / Ж.-Ф. Карикурубу, Г. И. Касьянов // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — № 108 (04).
27. *Лукина, Д. В.* Экономическая эффективность применения сверхвысокочастотной установки для теплового воздействия на прессованные дрожжи / Д. В. Лукина // Вестник ЧГПУ им. И. Я. Яковлева. 2013. — № 2 (78). — С. 76–79.
28. *Хатко, З. Н.* Влияние пектиновых веществ на активацию заквасок для ржано-пшеничного мини-хлеба / З. Н. Хатко, Е. В. Наумова // Новые технологии. 2020, 1 (51), 75–86. doi: 10.24411/2072-0920-2020-10108.
29. *Попова, Н. В.* Исследование степени адаптации молочнокислых микроорганизмов в системе растительных напитков/ Н. В. Попова, Р. И. Фаткуллин, И. В. Калинина, Е. Е. Науменко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». — 2020. — № 8 (1). — С.66–73. doi:10.14529/food200108.
30. *Bernadette-Emoke, T.; Gheorghe, A. M.; Ranga, F.; Chetan, F.; Vodnar, D.* 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, 10: 778. doi:10.3390/biom10050778.
31. *Резниченко, И. Ю.* Биологическая активация хлебопекарных дрожжей и возможность обогащения продукции хлебопечения пептидами/И. Ю. Резниченко, Г. С. Акопян, С. Л. Тихонов, Н. В. Тихонова // *Health, Food & Biotechnology*. — 2022. — № 4 (3). — С. 49–58. doi:10.36107/hfb.2022.i3.s1465.
32. *Головинская, О. В.* Технология пшеничного хлеба с применением культуральной жидкости гриба *Medusomyces gisevi*: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.18.07 / О. В. Головинская. — Санкт-Петербург, 2013. — 16 с.
33. *Кузьмина, С. С.* Активность дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в условиях стресс-провокации плодово-ягодными экстрактами/ С. С. Кузьмина, Л. А. Козубавеа, Е. Ю. Егорова, Б. М. Кулуштаева, Ф. Х. Смольникова // *Техника и технология пищевых производств*. — 2021. — № 51 (4). — С. 819–831. doi:10.21603/2074-9414-2021-4-819-831.

34. *Xu, D.; Zhang, Y.; Tang, K.; Hu, Y.; Xu, X.; Gänzle, M. G.* Effect of Mixed Cultures of Yeast and Lactobacilli on the Quality of Wheat Sourdough Bread. *Frontiers in Microbiology*. 2019, 10:2113. doi:10.3389/fmicb.2019.02113.

35. *Câmara, A. A.; Sant'Ana, A. S.* Advances in yeast preservation: physiological aspects for cell perpetuation. *Current Opinion in Food Science*. 2021, 38, 62–70. doi:10.1016/j.cofs.2020.10.019.

36. Патент №2187227 РФ. Способ приготовления закваски для производства хлеба / Г. Ц. Цыбикова, И. С. Хамагаева, М. Г. Заятуева (Россия). №2000102284/13; заявл. 27.01.2000; опубл. 20.08.2002.

37. *Baez, A.; Shiloach, J.* Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds. *Microbial Cell Factories*. 2014, 13 (1): 181. doi:10.1186/s12934-014-0181-5.

38. *Berterame, N. M.; Porro, D.; Ami, D.; Branduardi, P.* Protein aggregation and membrane lipid modifications under lactic acid stress in wild type and OPI1 deleted *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Microbial Cell Factories*. 2016, 17:15:39. doi:10.1186/s12934-016-0438-2.

39. *Халилова, Э. А.* О морфологических свойствах штамма *S. cerevisiae* Y-503 в условиях осмотического, температурного и кислотного стресса / Э. А. Халилова, Э. А. Исламмагомедова, С. Ц. Котенко, Р. З. Гасанов, А. А. Абакарова, Д. А. Аливердиева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2019. — № 21 (2–2). — С. 133–141.

Егорова Елена Юрьевна, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология хранения и переработки зерна», Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. 656038, Российская Федерация, г. Барнаул, ул. Ленина, 46. E-mail: egorovaeyu@mail.ru, ORCID: 0000-0002-4990-943X

Конева Светлана Ивановна, к. т. н., доцент, доцент кафедры «Технология хранения и переработки зерна», Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова. 656038, Российская Федерация, г. Барнаул, ул. Ленина, 46. E-mail: skoneva22@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6727-5979.

References

1. *Durso, L.; Hutkins, R.* Starter Cultures. Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition). 2003, 5583–5593. doi:10.1016/B0-12-227055-X/01146-9.
2. *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, 18: 2544. doi:10.3390/ijerph18052544.
3. *Solovyova, I. V.* Studying the biological properties of new strains of the genus *Lactobacillus* / I. V. Solovyova, A. G. Tochilina, N. A. Novikova, I. V. Belova, T. P. Ivanova, K. Ya. Sokolova // Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N.I. Lobachevsky. — 2010. — № 2 (2). — Pp. 462–468.
4. *Miranda, C.; Contente, D.; Igrejas, G.; Câmara, S.P.A.; Dapkevicius, M. D. L. E.; Poeta, P.* The Role of Exposure to Lactic Acid Bacteria from Foods of Animal Origin in Human Health. Foods. 2021, 10: 2092. doi:10.3390/foods10092092.
5. *Zharkova, I. M.* Starter cultures of spontaneous (natural) fermentation: features of technology and role in modern bakery production / I. M. Zharkova, Yu. F. Roslyakov, D. S. Ivanchikov // Technique and technology of food production. — 2023. — № 53 (3). — Pp. 525–544. doi:10.21603/2074-9414-2023-3-2455.
6. *Chavan, R.; Chavan, S.* Sourdough technology – an atraditional way for wholesome foods: A Review. Agricultural and Food Sciences. 2011, 10 (3), 169–182. doi:10.1111/J.1541-4337.2011.00148.X.
7. *Gänzle, M. G.; Zheng, J.* Lifestyles of sourdough lactobacilli – Do they matter for microbial ecology and bread quality? International Journal of Food Microbiology. 2019, 302, 15–23. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2018.08.019.
8. *D’Amico, V.; Gänzle, M.; Call, L.; Zwirzitz, B.; Grausgruber, H.; D’Amico, S.; Brouns, F.* Does sourdough bread provide clinically relevant health benefits? Frontiers in Nutrition. 2023, 20 (10): 1230043. doi:10.3389/fnut.2023.1230043.eCollection2023.
9. *Litwinek, D.; Boreczek, J.; Gambuś, H.; Buksa, K.; Berski, W.; Kowalczyk, M.* Developing lactic acid bacteria starter cultures for wholemeal rye flour bread with improved functionality, nutritional value, taste, appearance and safety. PLoS ONE. 2022, 17 (1): e0261677. doi:10.1371/journal.pone.0261677.

10. *Pérez-Alvarado, O.; Zepeda-Hernández, A.; Garcia-Amezquita, L. E.; Requena, T.; Vinderola, G.; García-Cayuela, T.* Role of lactic acid bacteria and yeasts in sourdough fermentation during breadmaking: Evaluation of postbiotic-like components and health benefits. *Frontiers in Microbiology*. 2022, 13: 969460. doi:10.3389/fmicb.2022.969460.
11. *Rizzello, C. G.; Portincasa, P.; Montemurro, M.; Di Palo, D. M.; Lorusso, M. P.; De Angelis, M.; Bonfrate, L.; Genot, B.; Gobbetti, M.* Sourdough Fermented Breads are More Digestible than Those Started with Baker's Yeast Alone: An In Vivo Challenge Dissecting Distinct Gastrointestinal Responses. *Nutrients*. 2019, 4, 11 (12): 2954. doi:10.3390/nu11122954.
12. *Romanov, A. S.* Bread and bakery products. Raw materials, technologies, assortment / A. S. Romanov, O. A. Ilyina, V. S. Iunikhina, S. V. Kraus. – M.: Delhi plus, 2016. — 539 p.
13. *Gänzle, M. G.* BREAD. Sourdough Bread Encyclopedia of Food Microbiology (Second Edition) // Eds.: Carl A. Batt, Mary Lou Tortorello. 2014, 309–315. doi:10.1016/B978-0-12-384730-0.00045-8.
14. *Koistinen, V. M.; Mattila, O.; Katina, K.; Poutanen, K.; Aura, A.-M.; Hanhineva, K.* Metabolic profiling of sourdough fermented wheat and rye bread. *Scientific Reports*. 2018, 8:5684. doi:10.1038/s41598-018-24149-w.
15. *Kuznetsova, L. I.* The influence of the microbial composition of starter compositions on the quality of rye thick starter cultures and bread / L. I. Kuznetsova, M. N. Lokachuk, M. S. Burykina, O. I. Savkina // *Bakery of Russia*. - 2022. –No. 2. – pp. 14-20. doi:10.37443/2073-3569-2022-1-2-14-20.
16. *Savkina, O. A.* Classification of starter cultures used in domestic and foreign bakery / O. A. Savkina, M. N. Lokachuk, L. I. Kuznetsova, E. N. Pavlovskaya, O. I. Parakhina, V. V. Martirosyan, M. N. Kostyuchenko // *Bakery of Russia*. - 2022. –No. 5. – pp. 22-28. doi:10.37443/2073-3569-2022-1-5-22-28.
17. *Lazo-Vélez M. A.; Garzon, R.; Guardado, D.; Serna-Saldivar, S. O.; Rosell, C. M.* Selenized chickpea sourdoughs for the enrichment of breads. *LWT*. 2021, 150: 112082. doi:10.1016/j.lwt.2021.112082.
18. *Susman, I.-E.; Schimbator, M.; Stamatie, G.; Culetu, A.; Dobre, A.; Multescu, M.; Popa, M. E.* Sourdough fermentation in gluten-free bread: a shelf-life improvement. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*. 2021, XXV (2), 61–69.

19. *Guryev, C. C.* Studying the properties of starter cultures prepared on the basis of non-traditional types of flour / S. S. Guryev, V. S. Popov // *Technique and technology of food production*. 2021, 51 (3), 470–479. doi:10.21603/2074-9414-2021-3-470-479.
20. *Siepmann, F. B.; Ripari, V.; Waszczyński, N.; Spier, M. R.* Overview of Sourdough Technology: from Production to Marketing. *Food and Bioprocess Technology*. 2018, 11, 242–270. doi:10.1007/s11947-017-1968-2.
21. *Papadimitriou, K.; Zoumpoulou, G.; Georgalaki, M.; Alexandraki, V.; Kazou, M.; Anastasiou, R.; Tsakalidou, E.* Sourdough Bread. *Innovations in Traditional Foods* // Eds.: C.M. Galanakis. Woodhead Publishing. 2019, 127–158. doi:10.1016/B978-0-12-814887-7.00006-X.
22. *Foerst, P.; Santivarangkna, C.* Advances in starter culture technology: focus on drying processes. *Advances in Fermented Foods and Beverages Improving Quality, Technologies and Health Benefits*. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2015, 249–270. doi:10.1016/B978-1-78242-015-6.00011-6.
23. *Lokachuk, M. N.* Collections of microorganisms for the bakery industry of FGANU NIIHP / M. N. Lokachuk, O. A. Savkina, E. N. Pavlovskaya, L. I. Kuznetsova // *Food technologies of the future: innovative ideas, scientific search, creative solutions: collection of materials of the V International scientific and practical Youth Conference*. — Moscow, 2023. — pp. 165–169.
24. *Nesterenko, A. A.; Reshetnyak, A. I.* Activation of starter cultures induced by electromagnetic treatment. *European Online Journal of Natural and Social Sciences*. 2012, 1 (3), 45–48.
25. *Danilova, A. N.* The effect of laser radiation on lactic acid bacteria / A. N. Danilova, M. S. Ponomareva, M. V. Gernet, L. N. Shaburova // *Storage and processing of agricultural raw materials*. — 2017. — No. 12. — pp. 12–14.
26. *Karikurubu, J. F.* Intensification of yogurt production technology with preliminary activation of the starter culture by an extremely low frequency electromagnetic field / J.-F. Karikurubu, G. I. Kasyanov // *Scientific journal of KubGAU*. — 2015. — № 108 (04).
27. *Lukina, D. V.* Economic efficiency of using an ultrahigh frequency installation for thermal effects on compressed yeast / D. V. Lukina // *Bulletin of the I. Ya. Yakovlev ChSPU*. 2013. — № 2 (78). — Pp. 76–79.

28. *Khatko, Z. N.* The influence of pectin substances on the activation of starter cultures for rye-wheat mini-bread / Z. N. Khatko, E. V. Naumova // *New technologies*. 2020, 1 (51), 75–86. doi: 10.24411/2072-0920-2020-10108.

29. *Popova, N. V.* Investigation of the degree of adaptation of lactic acid microorganisms in the system of vegetable drinks / N. V. Popova, R. I. Fatkullin, I. V. Kalinina, E. E. Naumenko // *Bulletin of SUSU. The series «Food and biotechnology»*. — 2020. — № 8 (1). — Pp. 66–73. doi:10.14529/food200108.

30. *Bernadette-Emoke, T.; Gheorghe, A. M.; Ranga, F.; Chetan, F.; Vodnar, D.* 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, 10: 778. doi:10.3390/biom10050778.

31. *Reznichenko, I. Yu.* Biological activation of baking yeast and the possibility of enriching bakery products with peptides / I. Yu. Reznichenko, G. S. Hakobyan, S. L. Tikhonov, N. V. Tikhonova // *Health, Food & Biotechnology*. — 2022. — № 4 (3). — Pp. 49–58. doi:10.36107/hfb.2022.i3.s1465.

32. *Golovinskaya, O. V.* Technology of wheat bread using culture liquid of the fungus *Medusomyces gisevi*: abstract. diss. ... Candidate of Technical Sciences: 05.18.07 / O. V. Golovinskaya. — St. Petersburg, 2013. — 16 p.

33. *Kuzmina, S. S.* Activity of yeast *Saccharomyces cerevisiae* under stress provocation with fruit and berry extracts / S. S. Kuzmina, L. A. Kozubavea, E. Y. Egorova, B. M. Kulushtaeva, F. H. Smolnikova // *Equipment and technology of food production*. — 2021. — № 51 (4). — Pp. 819–831. doi:10.21603/2074-9414-2021-4-819-831.

34. *Xu, D.; Zhang, Y.; Tang, K.; Hu, Y.; Xu, X.; Ganzle, M. G.* Effect of Mixed Cultures of Yeast and Lactobacilli on the Quality of Wheat Sourdough Bread. *Frontiers in Microbiology*. 2019, 10: 2113. doi:10.3389/fmicb.2019.02113.

35. *Câmara, A. A.; Sant'Ana, A. S.* Advances in yeast preservation: physiological aspects for cell perpetuation. *Current Opinion in Food Science*. 2021, 38, 62-70. doi:10.1016/j.cofs.2020.10.019.

36. Patent No.2187227 of the Russian Federation. The method of preparing sourdough for bread production / G. Tsybikova, I. S. Khamagaeva, M. G. Zayatueva (Russia). No.2000102284/13; application No. 27.01.2000; publ. 08/20/2002.

37. *Baez, A.; Shiloach, J.* Effect of elevated oxygen concentration on bacteria, yeasts, and cells propagated for production of biological compounds. *Microbial Cell Factories*. 2014, 13 (1): 181. doi:10.1186/s12934-014-0181-5.

38. *Berterame, N. M.; Porro, D.; Ami, D.; Branduardi, P.* Protein aggregation and membrane lipid modifications under lactic acid stress in wild type and OPI1 deleted *Saccharomyces cerevisiae* strains. *Microbial Cell Factories*. 2016, 17: 15: 39. doi:10.1186/s12934-016-0438-2.

39. *Khalilova, E. A.* On the morphological properties of the *S. cerevisiae* strain Y-503 under osmotic, temperature and acid stress / E.A. Khalilova, E.A. Islammagomedova, S.C. Kotenko, R.Z. Hasanov, A.A. Abakarova, D.A. Aliverdieva // *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. — 2019. — № 21 (2–2). — Pp. 133–141.

Egorova Elena Yuryevna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Technology of grain Storage and Processing», Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. 46 Lenin Street, Barnaul, 656038, Russian Federation. E-mail: egorovaeyu@mail.ru, ORCHID: 0000-0002-4990-943 X

Koneva Svetlana Ivanovna, Ph.D., Associate Professor, Associate Professor of the Department of Grain Storage and Processing Technology, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. 46 Lenin Street, Barnaul, 656038, Russian Federation. E-mail: skoneva22@mail.ru, ORCHID: 0000-0002-6727-5979.