

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 663.9

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРМЕНТИРОВАННЫХ ПРОДУКТОВ**

**Бурак Л.Ч.**

*ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Ферментация является одним из наиболее широко используемых методов консервирования пищевых продуктов и разработки натуральных продуктов с функциональными свойствами. Ферментированные продукты и напитки привлекательны для потребителей, предпочитающих здоровый образ жизни, поскольку они воспринимаются как естественные и потенциальные источники функциональных соединений. Цель статьи – обзор научных исследований о применении новых технологий в качестве процесса вспомогательной ферментации для разработки ферментированных напитков. Научно-технические достижения в области пищевых исследований сыграли решающую роль в эволюции ферментации: от использования и выбора конкретных заквасок до улучшения их характеристик за счет применения новых технологий, получения продуктов с высокими органолептическими показателями и пищевой ценностью. Было установлено, что омический нагрев, высокое гидростатическое давление, ультразвук и импульсное электрическое поле обладают потенциалом в качестве процессов вспомогательной ферментации, способных ускорять микробный метаболизм, улучшать жизнеспособность клеток, сокращать время обработки, увеличивать срок годности продукта и улучшить функциональные и питательные характеристики напитка. Вместе с тем необходимо вести дальнейшие исследования механизмов действия каждой технологии, влияющей на процесс ферментации различных видов пищевого сырья с целью выбора оптимальных параметров обработки, снижения энергопотребления и вредного воздействия на окружающую среду с сохранением пищевой ценности сброженных напитков.

**Ключевые слова:** ферментация, напитки, ультразвук, импульсное электрическое поле, омический нагрев, высокое гидростатическое давление

**USE OF MODERN TECHNOLOGIES  
IN THE PRODUCTION OF FERMENTED PRODUCTS**

**Burak L.Ch.**

*LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com*

Fermentation is one of the most widely used methods for food preservation and development of natural products with functional properties. Fermented foods and beverages are attractive to health-conscious consumers because they are perceived as natural and potential sources of functional compounds. The purpose of the article is to review scientific research on the application of new technologies as an assisted fermentation process for the development of fermented beverages. Scientific and technological advances in food research have played a decisive role in the evolution of fermentation: from the use and selection of specific starter cultures to improving their characteristics through the use of new technologies, producing products with high sensory characteristics and nutritional value. Ohmic heating, high hydrostatic pressure, ultrasound and pulsed electric field have been found to have potential as assisted fermentation processes that can accelerate microbial metabolism, improve cell viability, reduce processing time, increase product shelf life and improve the functional and nutritional characteristics of the beverage. At the same time, it is necessary to conduct further research into the mechanisms of action of each technology that affects the fermentation process of various types of food raw materials in order to select optimal processing parameters, reduce energy consumption and harmful effects on the environment while maintaining the nutritional value of fermented drinks.

**Keywords:** fermentation, drinks, ultrasound, pulsed electric field, ohmic heating, high hydrostatic pressure

Ферментация – одна из старейших и наиболее широко применяемых технологий консервирования пищевых продуктов. В ее основе лежит биологическая активность микроорганизмов, преобразующих вкус и внешний вид пищевых продуктов, увеличивающих срок их хранения. Знания об этой технологии, накопленные за прошедшие годы, а также технологические и научные достижения позволили значительно усовершенствовать процесс, превратив местное производство ферментированных продуктов питания в крупномасштабные контролируемые процессы ферментации [1].

Процесс ферментации можно описать как окисление углеводов в различные продукты, такие как органические кислоты,

спирт и углекислый газ, посредством химических реакций, проводимых в определенных условиях микроорганизмами, которые либо присутствуют в естественной среде, либо добавляются намеренно [2, 3]. В зависимости от основного конечного продукта его подразделяют на спиртовое, молочно-кислое, масляное, пропионовое или искусственное брожение [4]. Конечные метаболиты ферментации могут обладать антимикробной активностью или свойствами, способствующими укреплению здоровья, такими как антигипертензивное действие, усиление системного иммунитета и здоровья желудочно-кишечного тракта, снижение уровня холестерина и артериального давления [5]. В результате срок хранения продуктов

увеличивается, а в некоторых случаях ферментированные продукты становятся более усвояемыми, что повышает их питательные и функциональные качества. Кроме того, участие микроорганизмов в процессе ферментации приводит к значительным изменениям вкуса, аромата и текстуры, которые определяют уникальные характеристики ферментированных продуктов. С этой целью в реакциях ферментации могут участвовать различные микроорганизмы, такие как *LAB*, дрожжи, уксуснокислые бактерии и грибы [6].

В настоящее время стартовые культуры со специфическими микроорганизмами обычно используются на промышленном уровне для улучшения процесса ферментации и получения желаемых конечных продуктов, таких как вкусовые и ароматические соединения, а также витамины, антиоксиданты и биоактивные пептиды [7]. Кроме того, использование заквасок может способствовать ингибированию микроорганизмов порчи и патогенных бактерий в пищевом продукте за счет образования повышенного содержания кислот, антимикробных пептидов и ингибирующих белков [6]. Следовательно, правильный выбор заквасок очень важен для снижения риска неудачной ферментации, одновременно улучшая безопасность, стабильность, физико-химические и органолептические показатели а также функциональность конечного продукта.

Кроме правильного выбора микроорганизмов, оптимизация условий обработки и обеспечение биодоступности питательных веществ для оптимального роста микробов также являются важными аспектами для получения высококачественных, безопасных и стабильных ферментированных продуктов. В связи с этим в течение последних десятилетий исследователи находятся в постоянном поиске альтернатив обработки, которые отвечают этим требованиям и, кроме того, сокращают потребление энергии и время обработки, такие как высокое гидростатическое давление, ультразвук, импульсные электрические поля и омический нагрев. Поэтому цель данной статьи – обзор научных исследований о применении новых технологий в качестве процесса вспомогательной ферментации для разработки ферментированных напитков.

### **1. Производство ферментированных напитков**

Напитки брожения получают в основном из молока, а также злаков, фруктов, овощей или чайных листьев, сброженных различными микроорганизмами. Следует отметить, что распространенность ал-

лергии на белки коровьего молока, непереносимость лактозы и глютеина, а также популярные тенденции к веганскому и вегетарианскому питанию способствовали ускоренному развитию напитков брожения из растительного сырья без глютеина. Как правило, напитки брожения получают действием дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в различных субстратах, поскольку они являются основным микроорганизмом, ответственным за спиртовое брожение [8, 9]. Пиво – наиболее распространенный напиток, и добавление в него различных веществ, которые обладают функциональными свойствами (травы, пробиотики и др.), или удаление из него алкоголя, глютеина или углеводов может привести к желаемому, оптимально индивидуальному напитку, который понравится каждому. Его обычно производят путем экстрагирования сырья из солода и последующего брожения дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* в течение примерно 7–14 дней [10]. Вино также традиционно изготавливается из ферментированного винограда различными видами и штаммами дрожжей, которые взаимодействуют между собой, в результате чего получают вина с разными качественными характеристиками, при этом *S. cerevisiae* являются наиболее распространенными дрожжами, используемыми в виноделии [11]. В настоящее время другие ягоды и фрукты, такие как абрикос, слива и вишня, учитывая высокое содержание в них фенольных соединений и их антиоксидантный потенциал, используются для производства новых фруктовых вин [12]. Еще одним примером популярного напитка брожения является сидр, который готовят из свежесжатого или концентрированного яблочного сока, сброженного *S. cerevisiae* в течение 10–15 дней [13, 14].

Питьевой йогурт, считающийся традиционно популярным во всем мире ферментированным напитком, получают путем ферментации молока, в частности, с помощью *Lactobacillus bulgaricus* и *Streptococcus thermophilus*. Йогурт играет важную роль в рационе человека, являясь хорошим источником белков с высокой усвояемостью, витаминов А и В, а также минералов, таких как кальций, магний, цинк и фосфор, среди других важных соединений [15, 16]. Кефир является одним из старейших продуктов брожения, который приобрел большую популярность в последние годы благодаря пищевой ценности и функциональным свойствам. Его готовят из любого типа молока и взаимодействия различных homo- и гетероферментативных видов молочнокислых бактерий, таких как *Lactobacillus*

*helveticus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Streptococcus thermophilus*, *Bifidobacterium bifidum*, и дрожжей, таких как *Kluyveromyces*, *Saccharomyces*, *Candida* и *Torulopsis*, присутствующих в «кефирных зернах» [17].

Как упоминалось ранее, из-за высокого спроса на заменители молочных продуктов, в последние годы широко исследуется разработка продуктов, подобных йогурту и кефиру, на растительной основе. Ученые и технологи сосредоточили свои усилия на поиске ингредиентов растительного происхождения, таких как злаки, псевдозерна и бобовые, которые можно использовать в качестве субстрата для ферментации с помощью молочнокислых бактерий, получения продуктов с такими же питательными, функциональными, текстурными и сенсорными характеристиками, как у обычного йогурта или кефира, а также с возможностью размещения *LAB* в течение длительного времени хранения [18]. Установлено, что бобовые, такие как фасоль, горох, нут, вигна и чечевица, являются потенциальными ингредиентами для альтернатив йогурту из-за их повышенной концентрации белка, аминокислотного профиля и гелеобразующих свойств при ферментации с помощью *LAB* [19]. В настоящее время широко потребляется во всем мире чайный гриб, который считается освежающим ферментированным напитком с полезными свойствами для здоровья человека [20]. Его обычно готовят путем ферментации подслащенного черного чая с помощью симбиотического консорциума, состоящего из уксуснокислых бактерий и дрожжей, в течение 7–10 дней при комнатной температуре (20–30 °С), в результате чего получается конечный продукт с кислым и слегка сладким вкусом и пробиотическими свойствами [21].

Как уже отмечалось, разработка новых продуктов с приемлемыми органолептическими показателями, натуральными ингредиентами и функциональными свойствами является одной из основных задач для пищевой промышленности и широким полем для исследовательской работы. В этом отношении внедрение новых процессов, способствующих ферментативной обработке, показало потенциальные результаты, которые можно масштабировать на промышленном уровне для разработки ферментированных напитков.

## **2. Новые технологии как процессы ферментации для разработки ферментированных напитков**

В течение последних десятилетий использовались различные подходы для лучшего понимания микробного метаболизма

и его функциональной роли в ферментации путем внедрения таких инструментов, как методы секвенирования нового поколения и технологии метаомики [22]. В то же время новые процессы и современное оборудование также были внедрены с целью сокращения времени работы и энергозатрат, что привело к созданию конкурентоспособных процессов, основанных на технологических инновациях, повышенных выходах и высококачественной и безопасной продукции [23]. Среди новых технологий, используемых для этой цели, выделяются омический нагрев (ОН), умеренные электрические поля (MEF), импульсные электрические поля (PEF), ультразвук (US) и высокие гидростатические давления (НРР) [23–26].

Большинство новых технологий считаются нетепловыми процессами, которые вызывают все больший интерес среди исследователей, поскольку они безопасны и экологичны. Как правило, нетермический процесс применяется при температуре окружающей среды или ниже 40 °С в течение коротких периодов времени, сохраняя термочувствительные соединения в основном неповрежденными в обработанных продуктах, в отличие от термически обработанных пищевых продуктов. Поэтому применение нетермической обработки может улучшить вкус и питательные свойства ферментированных напитков, а также увеличить скорость химических и ферментационных реакций, сокращая время обработки [27–29].

В течение последних двух десятилетий многие исследователи сосредоточили свое внимание на оптимизации процесса ферментации путем применения нетермической обработки до или во время стадии ферментации для получения сброженных напитков с улучшенными функциональными свойствами, незначительным временем обработки и более длительным сроком хранения. Полученные результаты показали, что PEF, US и НРР высокоэффективны в достижении этих целей. Вместе с тем оценка каждой обработки для конкретного субстрата и микроорганизма очень важна для определения наилучших условий обработки и достижения желаемых результатов.

### **2.1. Омический нагрев (ОН), умеренные электрические поля (MEF) и импульсные электрические поля (PEF)**

Процессы ОН, MEF и PEF включают подачу электрической энергии различной интенсивности на короткие периоды времени (мс-мин) к пищевому продукту, помещенному между двумя электродами. Основное различие между этими техно-

логиями заключается в температуре, достигаемой во время обработки: в то время как ОН считается термической обработкой, при которой продукт действует как электрический резистор, быстро нагреваясь за счет рассеивания электрической энергии, МЕФ и РЕФ принято считать нетепловыми процессами [30]. Тем не менее основным механизмом действия при ОН, МЕФ и РЕФ является электропорация, которая зависит от напряженности электрического поля и может быть необратимой или обратимой, оказывая различное воздействие на обрабатываемый продукт [31].

Было проведено несколько исследований, сочетающих ОН или МЕФ с ферментацией, в которых установлено, что явление электропорации улучшает процесс ферментации за счет увеличения скорости метаболизма и роста микроорганизмов. Тем не менее в зависимости от напряженности электрического поля и характеристик микроорганизма метаболические эффекты могут быть разными [23,30–32]. Т. Gally, О. Rouaud, V. Jury [33] пришли к выводу, что ОН и МЕФ вызывают сублетальные температуры при постоянном распределении в процессе периодической обработки, улучшая технику ферментации и оказывая положительное влияние на активность микроорганизмов. Интересные результаты применения ОН и МЕФ в качестве методов вспомогательной ферментации были установлены авторами Mota et al. [30]. Несмотря на то, что полученные результаты показали большой потенциал для улучшения процессов ферментации с точки зрения сокращения времени обработки, необходимо провести дальнейшие исследования с целью полного анализа происходящих механизмов и оптимизации параметров обработки и эффективности.

Технология ОН также применялась к ферментированным напиткам в целях консервирования. А.Е. Alcántara-Zavala et al. [33] применили ОН (65°C / 5 и 7 мин; 70°C / 3 и 5 мин) к пульке (традиционный мексиканский пробиотик из агавы), чтобы продлить срок годности продукта. Авторы установили, что ОН является потенциальной альтернативой для увеличения срока хранения пульке до 22 дней без негативного воздействия на физико-химические и сенсорные свойства и с сохранением значительного количества молочнокислых бактерий, таких как *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus kefir* и *Saccharomyces cerevisiae*. В другом исследовании пробиотическое ферментированное молоко обрабатывали ОН (4, 6 и 8 В/см, 90–95 °С / 5 мин), а для оценки кинетики

выживаемости *Listeria monocytogenes* как постферментационное загрязнение применяли модель, разработанную автором Weibull [34]. Результаты этого исследования показали, что ОН снижал жизнеспособность *Listeria monocytogenes*, а напитки, обработанные ОН, имели достаточное количество *Lactobacillus acidophilus*. Кроме того, применение ОН улучшило экстракцию биологически активных соединений и органолептические показатели обработанных ферментированных напитков.

Что касается технологии РЕФ, она применялась в производстве ферментированных напитков, демонстрируя перспективность использования для продления срока годности и стабильности напитка, сокращения времени ферментации, производства вторичных метаболитов и улучшения микробного метаболизма, способствующего их росту и увеличению их эффективности [6, 35]. С одной стороны, РЕФ высокой интенсивности (> 15 кВ/см) использовались для консервирования, за счет инактивации патогенов и микроорганизмов порчи. В недавнем исследовании Rios-Corpio et al. [36] сравнили микробную стабильность, физико-химические параметры, содержание биологически активных соединений и сенсорные характеристики ферментированного напитка из граната (*Punica granatum*), обработанного РЕФ (биполярные импульсы 6 мс при 18 кВ/см и 200 Гц) и термической пастеризацией (63 °С, 30 мин, 72 °С, 15 с), которые хранили в течение 56 дней в условиях охлаждения (4 °С). Авторы установили, что микробная нагрузка *Brettanomyces ssp.* была снижена примерно на четыре логарифмических цикла в напитке, обработанном РЕФ. Также концентрация антиоксидантных соединений в термически обработанных напитках была ниже, чем в напитках, обработанных РЕФ. Оба обработанных напитка были стабильны в течение 56 дней хранения; тем не менее напитки, обработанные РЕФ, показали лучшую сенсорную приемлемость. Аналогичным образом установлено, что обработка РЕФ высокой интенсивности (37–53 кВ/см) является потенциальной альтернативой для консервирования напитков из чайного гриба с минимальными изменениями их физико-химических свойств, антиоксидантной активности и содержания биологически активных соединений [37]. Технология РЕФ может использоваться для микробного обеззараживания во время производства вина, обеспечивая сокращение количества *S. cerevisiae* и *S. cerevisiae* до 4,0 log<sub>10</sub> циклов. *O. oeni* в красном вине после алкогольного и яблочно-молочно-

го брожения без негативного воздействия на его качественные характеристики с точки зрения эннологических параметров и органолептических показателей [38]. Одним из наиболее важных преимуществ высокоинтенсивного PEF является короткое время обработки, позволяющее избежать повышения температуры и вызвать необратимую электропорацию. В результате микробные клетки могут быть инактивированы, а термолабильные соединения, такие как антиоксиданты и летучие вещества, сохранены, что позволяет получить безопасные, стабильные по сроку хранения и высококачественные продукты [6].

С другой стороны, PEF низкой интенсивности ( $< 1$  кВ/см) использовался для улучшения ферментации *Hanseniaspora sp.* фильтрации и контроля степени сбраживания в производстве слабоалкогольного яблочного сидра [39]. Обработка PEF при 0,29 кВ/см и 10,7 с, примененная к предварительной культуре в течение 6 ч, показала наибольшее снижение содержания алкоголя на 1,6% (об.) со значительным увеличением выхода биомассы и концентрации дрожжей. Авторы также установили, что чувствительность *Hanseniaspora sp.* дрожжей к PEF была более заметна во время лаг-фазы, чем в лог-фазе, с точки зрения уменьшения времени ферментации и снижения содержания этанола. В другом исследовании El Darga et al. [40] сравнили эффективность PEF (0,8 кВ/см – 100 мс; 5 кВ/см – 1 мс), US (24 кГц – 5, 10 и 15 мин) и мягкой пастеризации (50 °C – 15 мин) в качестве предварительной обработки винограда Каберне Фран для алкогольного брожения. Было установлено, что все предварительные обработки усиливали экстракцию фенолов, интенсивность цвета и антиоксидантную активность винограда во время ферментации; тем не менее обработка PEF при 0,8 кВ/см и 5 кВ/см обеспечила самое высокое содержание фенолов, антоцианов и танинов в полученном вине. В другом исследовании применили обработку PEF, чтобы вызвать проницаемость клеток кожицы различных сортов винограда, для улучшения процесса винификации с точки зрения повышения содержания полифенолов или сокращения времени мацерации. Авторы сообщили, что в зависимости от условий обработки и сорта винограда PEF может сократить время мацерации для достижения максимальной концентрации фенолов в вине в течение двух дней [41]. Ученые A. Ricci, G.P. Parpinello, A. Versari собрали информацию в период с 2007 по 2017 г. о технологии PEF, применяемой в виноделии, и пришли к выводу,

что PEF – это недорогой процесс, который может улучшить качество цвета красных вин и профиль полифенолов, значительно сокращая время мацерации. Однако, по мнению авторов, необходимо провести дополнительные исследования, чтобы лучше понять возможные механизмы реакций во время ферментации и мацерации, а также оценить потенциальное электрохимическое загрязнение, вызванное электродами камеры PEF во время обработки [42].

Проведено исследование влияния низкоинтенсивного PEF в процессе производства ферментированных молочных напитков. P. Chanos et al. сообщили, что действие PEF параметрами 1 кВ/см в течение 3 циклов по 50 импульсов и 4 Гц, примененного к смешанной культуре *Streptococcus thermophilus* DIL 5218 и *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus* DSM 20081T, инокулированными на восстановленной среде обезжиренного молока, успешно сокращало время брожения йогурта на 12 мин [43]. Было отмечено, что PEF может вызывать клеточный стресс и ускорять метаболизм *LAB*, улучшая их работу во время ферментации. В целом можно утверждать, что PEF низкой/умеренной интенсивности может вызывать обратимую электропорацию в клеточной мембране или клеточной стенке, что ускоряет микробную активность или экстракцию биоактивных соединений с получением ферментированных напитков за более короткое время обработки с улучшенным качеством. Понимание влияния параметров обработки PEF, таких как электрическая сила импульса, ширина импульса, частота импульса, полярность импульса или форма импульса, на микроорганизмы закваски йогурта, а также их связь с развитием уникальных сенсорных характеристик йогурта может открыть новую область исследований для оптимизации процесса ферментации молочных продуктов, а также других ферментированных напитков.

## 2.2. Ультразвук (US)

US-обработка представляет собой распространение звуковых волн с частотами выше человеческого слуха (20–40 кГц) через жидкую среду, генерирующую сдвиговые поля, возбуждение, турбулентность, вибрацию, давление и акустические потоки. В зависимости от частоты, применяемой при US-обработке, жидкая среда может подвергаться временной или устойчивой кавитации, которая является основным механизмом действия. Применение высокоинтенсивного ультразвука вызывает необходимые физические и химические реакции,

которые обычно повышают эффективность процессов в пищевой промышленности в сторону улучшения массопереноса. Автор E.C. Umego [44] собрал полную и краткую информацию о технологиях ультразвука, применяемых для повышения эффективности ферментации.

Использование US изучалось в различных исследовательских работах для контроля или стимулирования активности микроорганизмов в сброженных напитках. Установлено, что US усиливает рост и метаболическую активность различных микроорганизмов, так, например, показана активация смешанной культуры *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus*, которой инокулировали восстановленную сладкую сыворотку и обрабатывали мощностью 84 Вт в течение 150 с, что приводило к уменьшению времени ферментации до 30 мин и более высокому количеству жизнеспособных клеток, чем в необработанной ферментированной сыворотке [6]. Эффективность ультразвука в основном связана с образованием обратимых пор в мембранах микробных клеток, вызванным кавитацией, увеличивающим их проницаемость для интернализации необходимых питательных веществ и впоследствии способствующим их росту во время ферментации.

Различные авторы проанализировали изменения в формировании структуры геля, вызванные применением US в процессе вспомогательной ферментации при производстве йогурта. Установлено, что US, применяемый перед обработкой или во время ферментации, влияет на образование геля и может положительно или отрицательно изменить текстуру конечного продукта [6]. Например, применение US при 45 кГц в течение 5 мин во время ферментации йогурта привело к образованию крупных коллоидных частиц, нежелательных для этого вида продукта, влияющих на его реологические свойства. И наоборот, как сообщили Carrillo-López et al., обработка молока ультразвуком с частотой 24 кГц перед ферментацией приводит к более высокой твердости йогурта, чем при обработке ультразвуком во время ферментации [45].

Что касается производства алкогольных напитков, обработку ультразвуком использовали на винодельнях для улучшения вкуса, цвета, аромата, фенольного профиля вина и выхода экстракции из винограда в сусле [6]. Недавно US был применен для обработки измельченного винограда с использованием оборудования винодельческого масштаба для оптимизации процес-

са мацерации [6]. Результаты этого исследования показали, что US изменил физические характеристики виноградной кожуры, улучшая фенольную экстракцию и цвет вина с минимальным влиянием на физико-химические свойства готовых вин. Кроме того, переработка в США может повысить эффективность традиционных процессов виноделия, позволяя сократить время мацерации более чем на 50%.

За счет использования ультразвуковой технологии в качестве вспомогательного процесса ферментации был разработан ферментированный напиток с пробиотическими характеристиками и высоким уровнем биоактивных и антиоксидантных соединений. Были приготовлены сывороточно-овсяные напитки по разным рецептурам и обработаны ультразвуком (40 кГц) за 0, 3 и 10 минут до ферментации с *L. casei* 431. Результаты показали, что ферментированный напиток с соотношением сыворотки и овса 50:50, обработанный US в течение 3 мин, продемонстрировал самый высокий рост *L. casei* (7–8,85 Log КОЕ/мл), высокую антиоксидантную активность и хорошие вкусовые свойства как пробиотический напиток с потенциальной пользой для здоровья [46].

### 2.3. Высокое гидростатическое давление

Обработка ННР – это нетермический метод, основанный на приложении повышенного давления (100–800 МПа) к твердым или жидким продуктам питания в течение короткого времени (3–15 мин). Давление передается на продукт равномерно и мгновенно через несжимаемую передающую среду, обычно воду, при низкой температуре или температуре окружающей среды, что позволяет избежать потери биологических компонентов. Процесс ННР успешно применяется на протяжении многих лет для производства качественных продуктов с функциональными свойствами, свежим вкусом и высокой пищевой ценностью [6].

В отличие от PEF и US, ННР в основном использовался для консервирования ферментированных напитков, вызывая инактивацию бактерий и дрожжей, сохраняя их качественные характеристики и питательный состав. Эффективность ННР для микробной инактивации в основном зависит от приложенного уровня давления, времени (CUT) и времени обработки, характеристик микроорганизмов и состава пищевого сырья [47–49]. G. Rios-Corripio et al. [50] сравнили влияние ННР (500, 550, 600 МПа, 5–10 мин) с термической пастеризацией (63 °C / 1 мин; 72 °C / 15 с) на микробиологические, физико-химические, антиокси-

дантные и сенсорные характеристики сброженного гранатового напитка в течение 42 суток хранения при температуре 4 °С. ННР и термически обработанные напитки были микробиологически стабильны при хранении; тем не менее напитки, обработанные ННР, имели более высокие уровни антиоксидантных соединений сразу после обработки (399,22 мг GA / 100 мл общего количества фенольных соединений и 121,54 мг Q / 100 мл общего количества флавоноидов).

Другие исследования были сосредоточены на оценке микробной жизнеспособности ферментированных напитков после обработки ННР, что в некоторых случаях целесообразно ввиду их пробиотических свойств. Проведена оценка влияния ННР при 200 и 400 МПа в течение 10 мин и 1 мин соответственно на эволюцию начального количества *LAB*, используемых для приготовления сладкого сывороточно-ферментированного напитка. Авторы заметили, что ферментированные напитки сохраняли вкусовые и текстурные свойства сразу после обработки и в течение 45 дней хранения. Кроме того, сообщалось, что ННР при давлении 200 МПа в течение 10 мин поддерживал оптимальную концентрацию всех заквасочных микроорганизмов, в результате чего получался сброженный напиток с потенциальной пользой для здоровья благодаря жизнеспособности молочнокислых бактерий [6]. Следует отметить, что важно найти оптимальный уровень давления, который будет применяться в качестве сублетальных условий для каждого конкретного микроорганизма. Следовательно, необходимы дополнительные исследования в этой области для оптимизации параметров обработки и получения ферментированных напитков с пробиотическими свойствами.

### Заключение

Одним из направлений инновационного развития в пищевой промышленности является создание новых продуктов функционального и профилактического назначения. Употребление таких продуктов положительно влияет на микробный состав кишечника и позволяет предотвратить различные заболевания, связанные с образом жизни. Ферментация – это простой и эффективный процесс разработки безопасных и натуральных продуктов с уникальным вкусом и полезными для здоровья свойствами. За прошедшие годы на основе различного пищевого сырья были разработаны многие виды ферментированных напитков, предлагающих потребителям разнообразные альтернативы для введения биоактивных

компонентов в их ежедневный рацион. Научно-технические достижения в области пищевых исследований сыграли решающую роль в эволюции ферментации: от использования и выбора конкретных заквасок до улучшения их характеристик за счет применения новых технологий, получения продуктов с улучшенными органолептическими показателями и пищевой ценностью. В этом отношении было продемонстрировано, что ОН, МЕФ, РЕФ, УС и ННР обладают потенциалом в качестве процессов вспомогательной ферментации, способных ускорять микробный метаболизм, улучшать жизнеспособность клеток, сократить время обработки, увеличить срок годности продукта и улучшить функциональные и питательные характеристики напитка. Тем не менее необходимо проводить дальнейшие исследования механизмов действия каждой технологии, влияющей на процесс ферментации различных пищевых матриц, для выбора оптимальных параметров обработки и снижения энергопотребления и воздействия на окружающую среду без ущерба для конкретных характеристик сброженных напитков.

### Список литературы

1. Vinicius De Melo Pereira G., De Carvalho Neto D.P., Junqueira A.C.D.O., Karp S.G., Letti L.A.J., Magalhães Júnior A.I., Soccol C.R. A Review of Selection Criteria for Starter Culture Development in the Food Fermentation Industry // *Food Rev. Int.* 2019. Vol. 36. P.135–167.
2. Taveira I.C., Nogueira K.M.V., Oliveira D.L.G.D., Silva R.D.N. Fermentation: Humanity's oldest biotechnological tool // *Front. Young Minds.* 2021. Vol. 9. P. 1–7.
3. Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Ферментированные продукты питания с использованием плодов облепихи // *Chronos: естественные и технические науки.* 2021. Т. 6, № 4 (37). С. 32–46.
4. Marsh A.J., Hill C., Ross R.P., Cotter P.D. Fermented beverages with health-promoting potential: Past and future perspectives // *Trends Food Sci. Technol.* 2014. Vol. 38. P. 113–124.
5. Adebo O.A., Njobeh P.B., Adeboye A.S., Adebisi J.A., Sobowale S.S., Ogundele O.M., Kayitesi E. Advances in Fermentation Technology for Novel Food Products. In *Innovations in Technologies for Fermented Food and Beverage Industries* // Springer International Publishing: Cham, Switzerland. 2018. P. 71–87.
6. Morales de la Peña, M., Miranda-Mejía G.A., Martín-Belloso O. Recent Trends in Fermented Beverages Processing: The Use of Emerging Technologies // *Beverages.* 2023. Vol. 9. P. 51.
7. Baschali A., Tsakalidou E., Kyriacou A., Karavasiloglou N., Matalas A.-L. Traditional low-alcoholic and non-alcoholic fermented beverages consumed in European countries: A neglected food group // *NRR.* 2017. Vol. 30. P. 1–24.
8. Саубенова М.Г., Олейникова Е.А., Амангелды А.А. Биологическая ценность ферментированных продуктов // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.* 2019. № 8. С. 124–129.
9. Бурак Л.Ч. Перспективы использования молочнокислых бактерий *L. plantarum* для ферментации фруктовых соков // *Научное обозрение. Биологические науки.* 2022. № 3. С. 63–71.
10. Бурак Л.Ч. Перспективы производства пива с функциональными свойствами // *Технологии пищевой и перера-*

багвяваючай прамышленнасці АПК – продукты здорового питания. 2021. № 2. С. 79–88.

11. Capece A., Romaniello R., Siesto G., Romano P. Conventional and Non-Conventional Yeasts in Beer Production // *Fermentation*. 2018. Vol. 4. P. 38.

12. Čakar U., Petrović A., Pejin B., Čakar M., Živković M., Vajs V., Đorđević B. Fruit as a substrate for a wine: A case study of selected berry and drupe fruit wines // *Sci. Hortic*. 2019. Vol. 244. P. 42–49.

13. Rosend J., Kaleda A., Kuldjārv R., Arju G., Nisamedtinov I. The Effect of Apple Juice Concentration on Cider Fermentation and Properties of the Final Product // *Foods*. 2020. Vol. 9. P. 1401.

14. Hou C.Y., Huang P.H., Lai Y.T., Lin S.P., Liou B.K., Lin H.W., Hsieh C.-W., Cheng K.C. Screening and identification of yeasts from fruits and their coculture for cider production // *Fermentation*. 2022. Vol. 8. P. 1.

15. Кузнецова С.В. Моделирование характеристик йогурта с целью повышения качества путем эффективного подбора заквасочных культур IGEA // *Молочная промышленность*. 2022. № 6. С. 14–16.

16. Меньшикова З.Н., Киселева А.С., Терентьев Д.А. Требования, предъявляемые к качеству и безопасности йогурта // *Инновационная наука*. 2020. № 5. С. 68–70.

17. Перченко Н.А., Сергеева О.Н. Разработка полезного продукта – кефира с лекарственными травами // *Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сборник трудов научно-практической конференции преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов Новосибирского ГАУ (Новосибирск, 21–22 октября 2020 г.)*. Вып. 5. Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета «Золотой колос». 2020. С. 300–303.

18. Montemurro M., Pontonio E., Coda R., Rizzello C.G. Plant-based alternatives to yogurt: State-of-the-art and perspectives of new biotechnological challenges // *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 316.

19. Boeck T., Sahin A.W., Zannini E., Arendt E.K. Nutritional properties and health aspects of pulses and their use in plant-based yogurt alternatives. *Comp. Rev // Food Sci. Food Saf*. 2021. Vol. 20. P. 3858–3880.

20. Wang B., Rutherford-Markwick K., Zhang X.X., Mutukumira A.N. Kombucha: Production and Microbiological Research // *Foods*. 2022. Vol. 11. P. 3456.

21. Aydar A.Y., Mataracı C.E., Sağlam T.B. Development and modeling of a novel plant-based yoghurt produced by Jerusalem artichoke and almond milk using 1-optimal mixture design // *J. Food Meas. Charact*. 2021. Vol. 15. P. 3079–3087.

22. Manna M., Han G., Seo Y.-S., Park I. Evolution of Food Fermentation Processes and the Use of Multi-Omics in Deciphering the Roles of the Microbiota // *Foods*. 2021. Vol. 10. P. 2861.

23. Gavahian M., Mathad G.N., Oliveira C.A., Khaneghah A.M. Combinations of emerging technologies with fermentation: Interaction effects for detoxification of mycotoxins // *Food Res. Int*. 2021. Vol. 141. P. 110104.

24. Yıldız G., Yıldız G., Khan M.R., Aadil R.M. High-intensity ultrasound treatment to produce and preserve the quality of fresh-cut kiwifruit // *J. Food Process. Preserv*. 2022. Vol. 46. P. e16542.

25. Roobab U., Abida A., Chacha J.S., Athar A., Madni G.M., Ranjha M.M.A.N., Rusu A.V., Zeng X.-A., Aadil R.M., Trif M. Applications of innovative non-thermal pulsed electric field technology in developing safer and healthier fruit juices // *Molecules*. 2022. Vol. 27. P. 4031.

26. Jadhav H.B., Annature U.S., Deshmukh R.R. Non-thermal Technologies for Food Processing // *Front. Nutr*. 2021. Vol. 8. P. 657090.

27. Liu H., Xu X., Cui H., Xu J., Yuan Z., Liu J., Li C., Li J., Zhu D. Plant-Based Fermented Beverages and Key Emerging Processing Technologies // *Food. Rev. Int*. 2022. P. 1–20.

28. Roobab U., Khan A.W., Irfan M., Madni G.M., Zeng X.A., Nawaz A., Walayat N., Manzoor M.F., Aadil R.M. Recent developments in ohmic technology for clean label fruit and vegetable processing: An overview // *J. Food Process. Eng*. 2022. Vol. 45. P. e14045.

29. Mukhtar K., Nabi B.G., Arshad R.N., Roobab U., Yaseen B., Ranjha M.M.A.N., Aadil R.M., Ibrahim S.A. Potential Impact of Ultrasound, Pulsed Electric Field, High-Pressure Processing, Microfluidization Against Thermal Treatments Preservation Regarding Sugarcane Juice (*Saccharum officinarum*) // *Ultrason. Sonochem*. 2022. Vol. 90. P. 106194.

30. Mota M.J., Lopes R.P., Koubaa M., Roohinejad S., Barba F.J., Delgadillo I., Saraiva J.A. Fermentation at non-conventional conditions in food-and bio-sciences by the application of advanced processing technologies // *Crit. Rev. Biotech*. 2018. Vol. 38. P. 122–140.

31. Miranda M., Graciela A. Impact of pulsed electric fields on fermentation process during yogurt production, 2022. [Электронный ресурс]. URL: <https://hdl.handle.net/11285/650899> (дата обращения: 16.10.2023).

32. Gavahian M., Farahnaky A. Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review // *Trends Food Sci. Technol*. 2018. Vol. 72. P. 153–161.

33. Gally T., Rouaud O., Jury V., Havet M., Og'è A., Le-Bail A. Proofing of bread dough assisted by ohmic heating. *Innov // Food Sci. Emerg. Technol*. 2017. Vol. 39. P. 55–62.

34. Alcántara-Zavala A.E., de Dios Figueroa-Cárdenas J., Morales-Sánchez E., Aldrete-Tapia J.A., Arvizu-Medrano S.M., Martínez-Flores H.E. Application of ohmic heating to extend shelf life and retain the physicochemical, microbiological, and sensory properties of pulque // *Food Bioprod. Process*. 2019. Vol. 118. P. 139–148.

35. Silva A.B., Scudini H., Ramos G.L.P., Pires R.P., Guimarães J.T., Balthazar C.F., Rocha R.S., Margallo L.P., Pimentel T.C., Siva M.C., et al. Ohmic heating processing of milk for probiotic fermented milk production: Survival kinetics of *Listeria monocytogenes* as contaminant post-fermentation, bioactive compounds retention and sensory acceptance // *Int. J. Food Microbiol*. 2021. Vol. 348. P. 109204.

36. Rios-Corripio G., la Peña, M.M.-d., Welti-Chanes J., Guerrero-Beltrán J.A. Pulsed electric field processing of a pomegranate (*Punica granatum* L.) Fermented beverage // *IFSET*. 2022. Vol. 79. P. 103045.

37. Vazquez-Cabral D., Valdez-Fragoso A., Rocha-Guzman N.E., Moreno-Jimenez M.R., Gonzalez-Laredo R.F., Morales-Martinez P.S., Rojas-Contreras J.A., Mujica-Paz H., Gallegos-Infante J.A. Effect of pulsed electric field (PEF)-treated kombucha analogues from *Quercus obtusata* infusions on bioactives and microorganisms // *IFSET*. 2016. Vol. 34. P. 171–179.

38. Delso C., Berzosa A., Sanz J., Álvarez I., Raso J. Microbial Decontamination of Red Wine by Pulsed Electric Fields (PEF) after Alcoholic and Malolactic Fermentation: Effect on *Saccharomyces cerevisiae*, *Oenococcus oeni*, and Oenological Parameters during Storage // *Foods*. 2023. Vol. 12. P. 278.

39. Al Daccache M. et al. Control of the sugar/ethanol conversion rate during moderate pulsed electric field-assisted fermentation of a *Hanseniaspora* sp. strain to produce low-alcohol cider // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Vol. 59. P. 102258.

40. El Darra N., Grimi N., Maroun R.G., Louka N., Vorobiev E. Pulsed electric field, ultrasound, and thermal pretreatments for better phenolic extraction during red fermentation // *Eur. Foods Res. Technol*. 2013. Vol. 236. P. 47–56.

41. Saldaña G., Cebrián G., Abenoza M., Sánchez-Gimeno C., Álvarez I., Raso J. Assessing the efficacy of PEF treatments for improving polyphenol extraction during red wine vinifications // *IFSET*. 2017. Vol. 39. P. 179–187.

42. Ricci A., Parpinello G.P., Versari A. Recent Advances and Applications of Pulsed Electric Fields (PEF) to Improve Polyphenol Extraction and Color Release during Red Winemaking // *Beverages*. 2018. Vol. 4. P. 18.



43. Chanos P., Warncke M.C., Ehrmann M.A., Hertel C. Application of mild pulsed electric fields on starter culture accelerates yogurt fermentation // *Eur. Foods Res. Technol.* 2020. Vol. 246. P. 621–630.
44. Umego E.C., He R., Huang G., Dai C., Ma H. Ultrasound-assisted fermentation: Mechanisms, technologies, and challenges // *J. Food Process. Preserv.* 2021. Vol. 45. P. e15559.
45. Carrillo-Lopez L.M., Garcia-Galicia I.A., Tirado-Gallegos J.M., Sanchez-Vega R., Huerta-Jimenez M., Ashokkumar M., Alarcon-Rojo A.D. Recent advances in the application of ultrasound in dairy products: Effect on functional, physical, chemical, microbiological and sensory properties // *Ultrason. Sonochem.* 2021. Vol. 73. P. 105467.
46. Pérez-Porras P., Bautista-Ortín A.B., Jurado R., Gómez-Plaza E. Using high-power ultrasounds in red winemaking: Effect of operating conditions on wine physico-chemical and chromatic characteristics // *LWT.* 2021. Vol. 138. P. 110645.
47. Herrera-Ponce A.L., Salmeron-Ochoa I., Rodriguez-Figueroa J.C., Santellano-Estrada E., Garcia-Galicia I.A., Alarcon-Rojo A.D. High-intensity ultrasound as pre-treatment in the development of fermented whey and oat beverages: Effect on the fermentation, antioxidant activity and consumer acceptance // *JFST.* 2021. Vol. 59. P. 796–804.
48. Ma J., Yang H., Chen Y., Feng X., Wu C., Long F. Purified Saponins in *Momordica charantia* Treated with High Hydrostatic Pressure and Ionic Liquid-Based Aqueous Biphasic Systems // *Foods.* 2022. Vol. 11. P. 1930.
49. Ma J., Wang Y., Zhao M., Tong P., Lv L., Gao Z., Liu J., Long F. High Hydrostatic Pressure Treatments Improved Properties of Fermentation of Apple Juice Accompanied by Higher Reserved *Lactobacillus plantarum* // *Foods.* 2023. Vol. 12. P. 441.
50. Rios-Corripio G., Welti-Chanes J., Rodríguez-Martínez V., Guerrero-Beltrán J.Á. Influence of high hydrostatic pressure processing on physicochemical characteristics of a fermented pomegranate (*Punica granatum* L.) Beverage // *IFSET.* 2020. Vol. 59. P. 102249.