



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664.8

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.004



ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Леонид Чеславович Бурак

Общество с ограниченной ответственностью «Белросаква», Минск, Республика Беларусь
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Аннотация. Технология сверхкритического диоксида углерода (СК-СО₂) используется для экстрагирования и извлечения соединений из пищевого сырья и продуктов его переработки. В последнее десятилетие данная технология рассматривается как нетермический метод консервирования пищевых продуктов, так как сочетание СО₂ с умеренным давлением и температурой вызывает инактивацию микробных вегетативных клеток и денатурацию ферментов, максимально сохраняя при этом органолептические показатели свежего продукта, его биологически активные соединения и пищевую ценность. Цель статьи – критический обзор результатов научных исследований использования технологии СК-СО₂ для консервирования пищевых продуктов, механизмов микробной инактивации и влияние на физико-химические, технологические и сенсорные свойства, а также сохранении пищевой ценности. В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за период 2014–2024 гг. Для поиска были использованы базы данных PubMed, Scopus, Web of Science, Elibrary и Google Scholar. Материалом для исследования послужили 64 научные публикации. В ходе оценки результатов научных исследований установлено, что использование технологии СК-СО₂ способствует снижению микробиологической обсемененности более 5 log КОЕ/мл, инактивации ферментов и улучшению стабильности при хранении фруктовых и овощных соков, мясных и молочных продуктов. Для достижения максимальных результатов необходимо оптимизация параметров обработки, таких как температура, давление, объем СО₂ и время обработки. Дальнейшие научные исследования должны быть направлены на возможность расширения использования технологии сверхкритического диоксида углерода для различных видов пищевого сырья и продуктов переработки, оценки срока годности, биодоступности биологически активных соединений, а также исследований *in vitro* и *in vivo*, с целью определения преимуществ использования технологии СК-СО₂ перед другими способами и методами обработки и консервирования пищевых продуктов.

Ключевые слова: консервирование, нетермическая технология, СК-СО₂, микроорганизмы, ферменты, инактивация, биологически активные соединения, пищевая ценность, антиоксидантная активность.

Для цитирования: Бурак Л. Ч. Перспективы использования технологии сверхкритического диоксида углерода в пищевой промышленности. Обзор предметного поля // Ползуновский вестник. 2025. № 1, С. 32–50. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2025.01.004. EDN: <https://elibrary.ru/OVLGSU>.

Original article

PROSPECTS FOR USING SUPERCRITICAL CARBON DIOXIDE TECHNOLOGY IN FOOD INDUSTRY. SUBJECT FIELD OVERVIEW

Leonid Ch. Burak

Belrosakva Limited Liability Company, Minsk, Republic of Belarus
leonidburak@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6613-439X>

Abstract. Supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) technology is used to extract and extract compounds from food raw materials and processed products. In the last decade, this technology has been considered as a non-thermal method of food preservation, since the combination of CO₂ with moderate pressure and temperature causes inactivation of microbial vegetative cells and denaturation of enzymes, while maximally preserving the organoleptic characteristics of the fresh product, its biologically active compounds and nutritional value. The purpose of the article is a critical review of the results of scientific research on the possible use of SC-CO₂ technology for food preservation, the mechanisms of microbial inactivation and the effect on physicochemical, technological and sensory properties, as well as the preservation of nutritional value. The review includes articles published in English and Russian for the period 2014–2024. The databases used for the search were Pub-

© Бурак Л. Ч., 2025

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Med, Scopus, Web of Science, Elibrary and Google Scholar. The material for the study was 64 scientific publications. In the course of evaluating the results of scientific research, it was found that the use of SC-CO₂ technology helps to reduce microbiological contamination of more than 5 log KOE/ml, inactivate enzymes and improve the storage stability of fruit and vegetable juices, meat and dairy products. To achieve maximum results, optimization is necessary processing parameters such as temperature, pressure, CO₂ volume and processing time. Further scientific research should be aimed at the possibility of expanding the use of supercritical carbon dioxide technology for various types of food raw materials and processed products, assessing the shelf life, bioavailability of biologically active compounds, as well as in vitro and in vivo studies, in order to determine the benefits of using SC-CO₂ technology before other methods and methods of food processing and preservation.

Keywords: canning, non-thermal technology, SC-CO₂, microorganisms, enzymes, inactivation, biologically active compounds, nutritional value, antioxidant activity.

For citation: Burak, L Ch. (2025). Prospects for the use of supercritical carbon dioxide technology in food industry. Subject field overview. Polzunovskiy vestnik, (1), 32-50. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2025.01.004. EDN: <https://elibrary.ru/OVLGSU>.

ВВЕДЕНИЕ

Сведения о составе продукта питания, отсутствии в них химических консервантов, использовании в процессе переработки современных технологий, позволяющих максимально сохранять пищевую ценность продукта, свежесть вкуса и аромата, привлекает потребителей и во многом определяет их покупательскую способность [1]. В течение многих лет основной технологией консервирования пищевых продуктов была и остается традиционная термическая обработка, такая как пастеризация и стерилизация. Вместе с тем они могут оказывать негативное воздействие на физические, химические, питательные и сенсорные свойства пищевых продуктов [2–3]. В качестве альтернативы традиционной термической обработке, применяемой при консервировании пищевых продуктов в ходе научных исследований, рассматривались многие современные нетермические технологии [4–5]. Несмотря на доказанную эффективность некоторых нетермических технологий, на промышленном уровне для этой цели в настоящее время применяется только высокое гидростатическое давление [6]. На уровне лабораторных исследований технология СК-СО₂ широко применяется для экстракции соединений из пищевых материалов и побочных продуктов с конца 1970-х годов [7–10]. Масштабирование пилотных установок уже осуществлено, и есть промышленное использование, например, для удаления кофеина из чая и кофе [10]. Вместе с тем только в последнее десятилетие технология СК-СО₂ рассматривается в качестве нетермической технологии консервирования пищевых продуктов, поскольку сочетание СО₂ с приемлемым давлением и температурой может инактивировать микробные вегетативные клетки и денатурировать ферменты с небольшими изменениями в физико-химических, технологических и сенсорных свойствах, а также сохранении биоактивных соединений [11–13]. Совсем недавно было установлено, что технология СК-СО₂ может использоваться для инактивации пробиотических культур, что способствует созданию постбиотиков, положительно влияющих на здоровье потребителя [14–15]. Технология СК-СО₂ имеет ряд преимуществ, таких как использование более мягких условий давления (обычно < 20 МПа) по сравнению с теми, ко-

торые используются при высоком гидростатическом давлении (300–600 МПа). Также инактивация микробов достигается при низких температурах, чего не может быть при использовании ультразвука, поскольку в некоторых исследованиях используется термозвуковая обработка (ультразвук и температура) [16]. Кроме того, СО₂ является недорогим газом, тогда как в технологиях холодной плазмы и озона могут использоваться благородные газы и озон, покупка которых и необходимость поддерживать высокие концентрации в течение длительного времени воздействия, необходимого для микробной инактивации, дорогостоящие [17]. Обзорные статьи, связанные с технологией СК-СО₂, посвящены в основном экстракции соединений из пищевых материалов и побочных продуктов или их применению в традиционных процессах, таких сушка [10, 18]. В опубликованных обзорах обсуждалось применение СК-СО₂ в качестве нетермальной технологии, но микробная инактивация рассматривалась недостаточно и касалась в основном твердых продуктов и без анализа их влияния на безопасность пищевых продуктов, качество пищевых продуктов, концентрацию биоактивных соединений [10, 13, 19, 20, 21]. Кроме того, на момент исследования нами не было установлено, где бы в предыдущих обзорах был представлен анализ использования технологии СК-СО₂ в пищевой промышленности с целью инактивации микроорганизмов, сохранения биологически активных соединений и качества продукции, а также производства постбиотиков. Поэтому цель статьи – обзор результатов научных исследований и определения потенциала технологии СК-СО₂ для консервирования пищевых продуктов, механизмов микробной инактивации и влияние на физико-химические, технологические и сенсорные свойства, а также сохранении пищевой ценности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Поиск научной литературы результатов исследований потенциальных возможностей технологии СК-СО₂ для консервирования пищевых продуктов, механизмов микробной инактивации и влияние на физико-химические, технологические и сенсорные свойства, а также сохранении пищевой ценности проводили в библиографи-

ческих базах «PubMed», «Scopus», «Web of Science», «Google Scholar» с применением дескрипторов: «консервирование», «нетермическая технология», «СК-СО₂», «микроорганизмы», «ферменты», «инактивация», «биологически активные соединения», «пищевая ценность», «антиоксидантная активность». В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период 2014–2024 гг. Более ранние научные статьи изучали только при отсутствии новых публикаций по теме исследования. При выполнении работы применяли методы анализа, систематизации и обобщения. Изначально было отобрано и изучено 426 научных публикаций. Среди статей, соответствующих критериям включения, для составления данного обзора было выбрано 64 исследования.

Критерии включения и исключения для статей, подлежащих анализу, перечислены ниже.

Критерии включения:

(1) Статья написана в период 2014–2024 гг.;

(2) Статья соответствует теме исследования;

(3) Типы анализируемых статей – оригинальные исследовательские статьи, обзорные статьи и краткие отчеты.

Критерии исключения:

(1) Статья не соответствует теме данного обзора: не касается тематики использования технологии сверхкритического диоксида углерода в пищевой промышленности в качестве нетермической технологии консервирования.

(2) Содержание статьи дублируется. Если из разных баз данных или разных электронных библиотечных систем были извлечены повторяющиеся источники, их классифицировали только один раз.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика и аспекты технологии СК-СО₂

Сверхкритическая жидкость – это любое вещество, термодинамическое состояние давления и температуры которого выше критической точки фазового равновесия. В сверхкритической фазе чистые вещества имеют преимущества перед другими термодинамическими фазами (газовыми, жидкими или твердыми), поскольку их химические и физические свойства находятся между жидкой и газовой фазами. Кроме того, эти свойства можно регулировать, изменяя температуру и давление [13, 22]. Некоторые вещества, такие как аммиак, вода и этилен, могут использоваться в сверхкритическом состоянии, но сверхкритический диоксид углерода (СК-СО₂) является наиболее используемой сверхкритической жидкостью.

Условия СК-СО₂ приемлемы, температура 31,06 °C и давление 7,38 МПа, что легко достижимо. В таком состоянии СО₂ обладает растворяющей способностью, подобной жидкости, и коэффициентом диффузии, подобным газу [10]. Высокие плотности приводят к улучшению селективности и растворимости жидкости. Кроме того, низкое поверхностное натяжение и вяз-

кость в сочетании с промежуточным коэффициентом диффузии облегчают проникновение жидкости в слои клеток, что приводит к более высокой экстракции внутреннего материала и улучшению инактивации [23]. Преимущество СО₂ обусловлено еще и тем, что он не токсичен, не вызывает коррозии, не горюч, инертен, не дорог (поскольку доступен в атмосфере), обычно считается безопасным. Кроме того, он доступен с высокой степенью очистки. Его можно легко отделить от пищевых продуктов путем снижения давления (поскольку пищевые компоненты не растворяются в СО₂ при атмосферном давлении), не оставляя остатков в пищевых продуктах [24–25]. Мягкая критическая точка позволяет сохранять термочувствительные биоактивные соединения в продуктах и минимизировать инвестиционные и энергетические затраты. Можно выделить три основных типа установок для применения технологии СК-СО₂ в жидких пищевых продуктах: периодические, полупрерывные и непрерывные системы. Периодическая система состоит из резервуара с СО₂, охладителя, насоса, клапанов, реактора и нагревателя или водяной бани (для контроля температуры). В этой системе СО₂ и продукт неподвижны в реакторе. Конструкция периодической системы в различных исследованиях отличается друг от друга [14, 26, 27, 28, 29, 30]. В полупрерывной системе через сосуды, соединенные последовательно, в которых находится пища, проходит непрерывный поток СО₂. При непрерывном процессе образец (из питающего резервуара) закачивается в систему и смешивается со сверхкритическим СО₂ в условиях, определенных для процесса. После операции эта смесь проходит через нагреватель и сепаратор для удаления СО₂ из образца (который можно восстановить и использовать повторно). Система контролируется расходомерами, а температура и давление процесса контролируются онлайн-системой. Периодическая система имеет низкую производительность обработки, и ее промышленное применение может быть ограничено. Напротив, полупрерывные и, главным образом, непрерывные системы способствуют более эффективному контакту СО₂ и образца и, следовательно, к сокращению времени обработки снижению затрат [23]. Применение технологии СК-СО₂ для твердых пищевых продуктов менее изучено, а информация об оборудовании отсутствует. Основными параметрами обработки технологии СК-СО₂ являются температура, давление, поток СО₂ и время обработки [10].

Механизм микробной инактивации

Касательно процесса инактивации микроорганизмов технология СК-СО₂ является альтернативой традиционной термической обработке [31–33]. Описано несколько механизмов действия, и инактивация происходит посредством множественных целевых эффектов, которые до конца не изучены [10]. Физическое раз-

рушение является предполагаемым механизмом, поскольку микробная клетка подвергается быстрому сбросу давления и расширению CO_2 в клетках. Однако микробная инактивация может происходить в клетках с небольшими признаками деформации или даже в неповрежденных клетках, что позволяет предположить, что физическое разрушение само по себе не может быть причиной микробной инактивации [34]. Гидрофильные и липофильные характеристики CO_2 могут быть важными факторами микробной инактивации. Липофильная природа приводит к экстракции фосфолипидов из цитоплазматических клеточных мембран, тогда как гидрофильная природа способствует диффузии и накоплению CO_2 в клеточных мембранах, увеличивая текучесть и проницаемость мембран. Изменения в структуре мембран могут поставить под угрозу жизненно важные компоненты клеток и в конечном итоге привести к их гибели.

Вместе с тем сообщалось, что изменение внеклеточного и внутриклеточного pH, вероятно, является наиболее важным в технологии СК- CO_2 для микробной инактивации [13]. Сначала CO_2 растворяется во внешней жидкой фазе, и за счет присутствия воды образуется угольная кислота. Это соединение может диссоциировать на ионы бикарбоната и водорода, снижая внеклеточный pH [35]. Это подкисление увеличивает проницаемость клеточных мембран и облегчает проникновение CO_2 в клетки [21]. Таким образом, CO_2 диффундирует внутрь клеток. Он может напрямую ингибировать микробные клетки за счет осаждения неорганических электролитов или оказывать негативное воздействие на морфологию и рост микробов, главным образом при применении низких и умеренных температур и высоких давлений [11]. Он также может способствовать снижению внутриклеточного pH за счет вышеупомянутых процессов, следовательно, ключевые ферменты, ответственные за важнейшие регуляторные и метаболические процессы в микроорганизмах, инактивируются, поскольку их каталитическая активность чувствительна к изменению pH [36]. Внутриклеточное закисление может также нарушать электролитный баланс внутриклеточных и жизненно важных компонентов клеток и клеточных мембран. Ионы угольной кислоты и бикарбоната также могут изменять карбоксилирование и декарбоксилирование различных реакций [13]. В результате более низкие значения pH могут снизить устойчивость микроорганизмов к инактивации из-за высокой энергии, необходимой для поддержания внутриклеточного гомеостаза [23]. Эффективность технологии СК- CO_2 по инактивации микробов может зависеть от активности воды и свободной воды. Результаты исследования твердых пищевых продуктов, таких как травы и специи продемонстрировали, что технология

СК- CO_2 оказывает микробицидное действие только в присутствии некоторого количества воды. Таким образом, при высокой активности воды за инактивацию микробов могут быть ответственны псевдооживление мембран и изменения барьерных свойств мембран [37]. При низкой активности воды инактивация может быть уменьшена или даже нарушена, поскольку в сухих клетках нарушено внешнее снижение pH и набухание мембранных клеток, что препятствует легкому проникновению CO_2 [23].

Споры – это спящие формы вегетативных бактерий, чрезвычайно устойчивые к химическим реагентам, теплу и радиации, что считается большой проблемой для пищевой промышленности [10]. Инактивация спор с помощью технологии СК- CO_2 пока неизвестна, но существуют предположения о двух механизмах действия. Споры активируются, затем прорастают, становясь чувствительными к CO_2 , или происходит повреждение вследствие снижения pH и модификации структуры внутренней мембраны покоящихся спор [10, 38].

Показатели качества пищевых продуктов, обработанных по технологии СК- CO_2

Микробиологические

Технология СК- CO_2 применялась с целью микробной инактивации фруктов и овощей, таких как свежие и замороженные фруктовые соки [39–46], кокосовой воды [31], сухофруктов [47–48], а также семян и трав [49–50]. В ходе исследований использовались вариации давления 8–60 МПа, температуры 25–80 °C и времени 3–90 мин (табл. 1.)

Проводились также исследования обработки мясных продуктов, таких как ветчина, куриное мясо и свинины, при давлении 6–35 МПа, температуре 40–51 °C и времени 5–120 мин [51, 29, 32, 33]. Хотя в процессе приготовления ветчины происходит инактивация патогенных бактерий и бактерий, вызывающих порчу, продукты могут подвергаться перекрестному загрязнению во время процедур нарезки и упаковки. Кроме того, свежее мясо птицы и свинины из-за своего химического состава является скоропортящимся, поэтому процесс обработки СК- CO_2 мясных продуктов является необходимым и целесообразным. Молочные продукты, такие как молоко и сыр, также исследовались при обработке СК- CO_2 с параметрами давления 8–20 МПа, температуре 30–70 °C, время 10–60 мин (табл. 1.) В таблице 1 представлены основные исследования влияния технологии СК- CO_2 на микробиологическое качество пищевых продуктов. Общее количество микроорганизмов было снижено до уровня ниже пределов обнаружения [41, 44], а также плесени и дрожжей [31, 39, 40, 48, 50, 52] и множественные мезофильные бактерии [39].

Таблица 1 – Влияние технологии сверхкритического диоксида углерода (СК-СО₂) на инактивацию микроорганизмов в пищевых продуктахTable 1 – The effect of supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) technology on the inactivation of microorganisms in food products

Наименование пищевого продукта	Цель воздействия	Параметры воздействия	Альтернативная обработка	Основные результаты	Источник
1	2	3	4	5	6
Гранатовый сок	Микробная инактивация и микробиологическая стабильность	СК-СО ₂ при 12,7 МПа, 45 °С, 40 мин	Пастеризованный (90 °С, 1 мин), высокое гидростатическое давление (ННР, 600 МПа, 3 мин) и необработанный образец	Эффективен для инактивации мезофильных бактерий, дрожжей и плесени. Мезофильные бактерии обладают более высокой устойчивостью, чем дрожжи и плесени. Более высокие температуры и более длительное время обработки улучшают инактивацию микроорганизмов. Давление оказало незначительное влияние. Обработанные СК-СО ₂ , ННР и пастеризованные продукты имеют одинаковую микробиологическую стабильность	[39]
Клубничный сок	Микробная инактивация	СК-СО ₂ при 10, 30 и 60 МПа, 35, 45 и 65 °С, 10, 20 и 30 мин	Необработанный образец	Более высокие давления, температуры и время обработки привели к большей микробной инактивации. Основным параметром, влияющим на общее количество микробов, было давление	[41]
Апельсиновый сок	Кинетика инактивации <i>Escherichiacoli</i> и <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	СК-СО ₂ + ГПУ при 10, 22,5 и 35 МПа, 31, 36 и 41 °С, 8 мин.	–	Скорость инактивации <i>E. coli</i> и <i>S. cerevisiae</i> увеличивалась с увеличением давления и температуры во время обработки СК-СО ₂ + НРУ	[42]
Апельсиновый сок	Микробная инактивация	Концентрация СО ₂ ок. 8,5 мас.% при 42 °С в течение 20 мин	Термическая обработка при 70 °С в течение 7,2 с	Результаты СК-СО ₂ по микробной инактивации (аэробная мезофильная бактерии, дрожжи и плесень) аналогичны термической обработке	[46]
Апельсиновый сок	Микробная инактивация <i>Lactobacillus helveticus</i> и микробиологические показатели	СК-СО ₂ при 25 МПа, 40 °С	Пастеризовано при 90 °С, образец не обработан	Обработка СК-СО ₂ уничтожила все микробные клетки, и сок был стабилен при хранении. Пастеризованный сок имел низкую инактивацию и незначительную скорость роста микробов, тогда как необработанные соки демонстрируют высокую и быструю скорость роста микробов во время хранения (4 °С)	[43]
Апельсиновый сок	Микробная инактивация	СК-СО ₂ + НРУ при 10 МПа; 31, 36 и 41 °С, 3 мин, 40 Вт	Пастеризация при 90 °С в течение 1 мин	СК-СО ₂ + НРУ и инактивированная пастеризацией <i>E. coli</i> Температуры, используемые при обработке СК-СО ₂ + НРУ, не влияли на инактивацию <i>S. cerevisiae</i> , тогда как пастеризация обеспечивала полную инактивацию	[44]
Яблочный сок	Инактивация спор <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>	СК-СО ₂ при 60 МПа, 50 или 75 °С, 20, 30 и 40 мин	Процесс ННР при 300 МПа, 50 или 75 °С, 5, 10 и 15 мин	Умеренно высокие температуры и большее время обработки СК-СО ₂ (75 °С, 40 мин) и ННР (50 °С, 15 мин) дают лучшие результаты инактивации спор <i>A. acidoterrestris</i> в яблочном соке. Воздействие на яблочный сок, но не на концентрированные яблочные соки. Тип штамма был важным фактором	[45]
Яблочный сок	Инактивация клеток <i>Lactobacillus casei</i>	СК-СО ₂ при 10–20 МПа, 36–55 °С, 10–30 мин	–	СК-СО ₂ в условиях 15 МПа, 55 °С и 30 мин, процесс позволил снизить количество клеток <i>L. casei</i> более чем на 6 логарифмических циклов. Увеличение объема СО ₂ , температуры и времени обработки увеличивает инактивацию микроорганизмов. Давление не оказало существенного влияния	[27]

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
Кокосовая вода	Инактивация естественных микробов и <i>Salmonella enterica</i> , инокулированных в продукте	СК-СО ₂ при 12 МПа, 25–45 °С, 1–60 мин. СК-СО ₂ + НРУ, те же условия + мощность 10 Вт	СК-СО ₂ + НРУ	СК-СО ₂ мог инактивировать естественную микробиоту (12 МПа, 40 °С, 30 мин), но сообщалось о повторном росте во время хранения. Усиленная НРУ инактивация СК-СО ₂ <i>S. enterica</i> и естественной микробиоты в кокосовой воде. Сокращение времени обработки было достигнуто за счет комбинированных технологий	[31]
Кориандр	Микробная инактивация	СК-СО ₂ и НРУ + СК-СО ₂ при мощности 10, 40 и 80 Вт, 40 и 50 °С, до 90 мин	СК-СО ₂ + НРУ на разных мощностях	СК-СО ₂ может инактивировать вегетативные клетки, но не споры. Наиболее эффективными условиями для СК-СО ₂ были 40 Вт, 10 МПа и 40 °С. НРУ + СК-СО ₂ при мощности 40 Вт может обеспечить лучшую инактивацию микробов по сравнению с одним СК-СО ₂	[50]
Плоды масличной пальмы	Микробная инактивация	СК-СО ₂ при 7,4, 10, 30 и 50 МПа, 32–80 °С, 15–60 мин	–	Оптимальные условия, приводящие к полной микробной инактивации, достигаются при давлении 10 МПа и температуре 80 °С в течение 60 мин. Давление положительно влияло на инактивацию микроорганизмов до 10 МПа. Температура и время обработки положительно повлияли на инактивацию микроорганизмов	[47]
Кусочки клубники	Инактивация естественных микробов и инокулированных <i>E. coli</i> , <i>Salmonella enterica</i> и <i>Listeria monocytogenes</i>	СК-СО ₂ при 10 МПа, 40 °С, 1, 3 и 6 ч	–	СК-СО ₂ способен эффективно инактивировать дрожжи и плесень, всего лишь создавая и сбрасывая давление в образцах. Инокулированные патогены были полностью инактивированы после 6 часов обработки	[48]
Замороженный сок личи	Инактивация природных микробов	СК-СО ₂ при 8 МПа, 36 °С, 2 мин	Обычный кратковременный высокотемпературный режим (HTST) при 90 °С в течение 60 с	Обработка СК-СО ₂ снизила микробную нагрузку. Дрожжи/плесени были полностью инактивированы при обработке СК-СО ₂ и HTST	[40]
Семена лука-порей и люцерны	Микробная инактивация <i>E. coli</i> O157:H7, <i>L. monocytogenes</i> , <i>Salmonella Thompson</i> и <i>S. Typhimurium</i>	СК-СО ₂ при 8 и 12 МПа, 35 и 45 °С, 20 мин	Образец необработанный	Патогенов, инокулированных в семенах лука-порея, было больше, чем после СК-СО ₂ . Инактивация зависела от типа семян, давления, и температуры	[49]
Ветчина сыровяленая	Микробная инактивация <i>E. coli</i>	СК-СО ₂ + НРУ при 15, 25 и 35 МПа, 41, 46 и 51 °С, 5, 10 и 15 мин	Обработка СК-СО ₂ + НРУ + SS (солевой раствор) в тех же условиях	Обработка СК-СО ₂ + НРУ оказалась эффективной для микробной инактивации <i>E. coli</i> и микробиоты в сыровяленой ветчине. SS улучшил инактивацию <i>E. coli</i> ; лучшие результаты были получены при 25 МПа, 46 °С и 10 мин	[51]
Сырое куриное мясо	Микробная инактивация <i>E. coli</i> и природных микробов	СК-СО ₂ при 8 и 14 МПа, 40 °С, 5, 30 и 45 мин	СК-СО ₂ + свежие кулинарные травы (<i>Coriandrum sativum</i> и <i>Rosmarinus officinalis</i>)	Более длительное время обработки улучшает микробную инактивацию. Комбинация свежих трав и СК-СО ₂ не показала синергетического эффекта	[29]
Свиной фарш	Микробиологическая стабильность	СК-СО ₂ при 13,8 МПа, 35 °С, 2 ч	Комбинированная обработка СК-СО ₂ (те же условия) + 2,5 г или 5 г сухого порошка розмарина/100 г мяса и необработанного образца	Популяции микробов снижались при обработке СК-СО ₂ , причем более выраженный эффект достигался при комбинированной обработке СК-СО ₂ и 5,0 г порошка розмарина/100 г мяса	[32]
Молоко	Микробная инактивация <i>E. coli</i>	СК-СО ₂ при 8–18 МПа, 30–70 °С, 10–30 мин.	–	Условия обработки с более низким давлением, более высокой температурой и временем позволяют инактивировать <i>E. coli</i> в молоке	[26]

Продолжение таблицы 1 / Continuation of table 1

1	2	3	4	5	6
Сыр типа моцарелла	Инактивация естественных микробов и привитых патогенов (<i>E. coli</i> , <i>Listeria innocua</i> и <i>Geobacillus stearothermophilus</i>)	СК-СО ₂ при 9,9 МПа, 35 °С, 30 мин	СК-СО ₂ + надуксусная кислота (НУК) в концентрациях 50 и 100 ppm	<i>E. coli</i> была инактивирована при всех обработках. Синергетические эффекты наблюдались для <i>Listeria innocua</i> , спор <i>Geobacillus stearothermophilus</i> и местной микрофлоры, такой как общее количество бактерий и общее количество дрожжей и плесени	[52]

Сокращения: НРР – высокое гидростатическое давление, НРУ – ультразвук высокой мощности.

Технология СК-СО₂ также показала эффективность в инаktivации искусственно инокулированных патогенов (*Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella enterica* и/или *Listeria monocytogenes*) [26, 33, 44, 48] и микроорганизмы, вызывающие порчу (*Lactobacillus helveticus* и *Lactocaseibacillus casei*) [27, 43]. Аналогичная микробная инаktivация была достигнута с помощью технологии СК-СО₂ по сравнению с традиционной термической обработкой [40, 46]. В нескольких исследованиях было достигнуто ≥ 5 -кратное логарифмическое снижение, что необходимо для обеспечения микробиологической стабильности [31, 42, 50, 52].

Напротив, в некоторых других исследованиях сообщалось о низкой инаktivации вегетативных клеток патогенных бактерий и бактерий, вызывающих порчу, а также дрожжей [40, 44] и спор [45]. Поэтому оценка влияния остаточной микрофлоры на параметры качества продукции важна для оптимизации параметров процесса и достижения полной инаktivации. Насколько нам известно, результатов, полученных со спорами, недостаточно, чтобы сделать вывод об эффективности инаktivационной технологии СК-СО₂. Обработанные продукты продемонстрировали стабильность при хранении при отсутствии роста микробов [39, 43] или с меньшим количеством микробов по сравнению с продуктами, подвергнутыми традиционной термической обработке [30, 52]. Однако необходимо отметить: в продуктах, обработанных СК-СО₂, были случаи возобновления роста микроорганизмов, что, как предполагалось, было связано с ростом ранее жизнеспособных, но не поддающихся культивированию клеток [31]. Эти результаты позволяют предположить, что технология СК-СО₂ может способствовать обратимым изменениям в микробных клетках. Таким образом, крайне важно, продолжить исследования с учетом возможного восстановления микробных клеток при оценке продуктов в течение периода хранения. Устойчивость микроорганизмов к действию технологии СК-СО₂ зависит от вида пищевого продукта. Технология СК-СО₂ способна инаktivировать споры *Alicyclobacillus acidoterrestris* в яблочном соке (11,3 °Brix), но не в концентрированном яблочном соке (70,7 °Brix). Высокая концентрация

сухих веществ могла предотвратить прорастание спор и воздействие СО₂ на микробные клетки [45]. Кроме того, более высокая инаktivация *E. Coli* O157:H7, *L. Monocytogenes* и *Salmonella* spp. наблюдался у лука-поррея, чем у семян люцерны [49]. Более низкое содержание воды и антимикробных соединений в семенах лука-поррея могло способствовать более высокой эффективности СО₂ [49]. Кроме того, жидкие продукты имеют более высокую степень инаktivации, чем твердые продукты, поскольку твердые продукты могут защищать микроорганизмы от СО₂ [51]. Также более эффективная степень инаktivации наблюдалась в ветчине, приготовленной кубиками, чем в фарше, поскольку микроорганизмы были распределены по поверхности ветчины, нарезанной кубиками, а не по всему объему мяса [31]. Результаты отмеченных исследований позволяют сделать вывод о влиянии не только вида пищевого продукта, но также его состава и формы, поскольку эти факторы могут повлиять на эффективность технологии СК-СО₂.

Микробная инаktivация также зависит от штамма: *E. coli* демонстрирует более высокую устойчивость, чем *S. Enterica* [48], *Listeria innocua* имеет более высокую устойчивость, чем *E. coli*, мезофильные бактерии с более высокой устойчивостью, чем плесени и дрожжи [29, 31, 39] и *Saccharomyces cerevisiae* с более высокой устойчивостью, чем *E. coli* [44]. В общем виде грамположительные бактерии обычно более устойчивы к процессингу СК-СО₂, чем грамотрицательные, из-за более толстой мембраны и состава клеточной стенки (в основном пептидогликана), что приводит к затруднению проникновения СО₂ в клетку и предотвращение экстракции соединений из мембран [19]. Кроме того, клеточная стенка *S. cerevisiae*, состоящая из глюкана, сшитого с белками клеточной стенки и хитином, может препятствовать эффекту СО₂ [44]. Важно подчеркнуть, что споры *Geobacillus stearothermophilus* также оказались более устойчивыми, чем вегетативные клетки бактерий [53]. Эти результаты показывают, что параметры обработки, используемые при применении СК-СО₂, могут быть определены с учетом целевого микроорганизма и необходимой инаktivации. В продуктах с разнообразной микрофлорой следует оценивать устойчивость раз-

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

личных микроорганизмов к СК-СО₂. Поэтому необходимы дальнейшие исследования устойчивости различных микроорганизмов не только к СК-СО₂, но и к термическим процессам.

Параметры обработки являются ключевыми факторами улучшения микробной инактивации технологии СК-СО₂, поэтому должны быть оптимизированы. В некоторых исследованиях оценивалось влияние параметров обработки на микробную инактивацию с использованием составов, обработанных в различных условиях давления, температуры и времени обработки [41–42], тогда как другие проводили эксперименты с использованием постоянных условий воздействия [39, 52].

Инактивация микроорганизмов зависит от диффузии СО₂ в микробных клетках, поскольку воздействие СО₂ увеличивает лаг-фазу и время роста микроорганизмов [13]. Таким образом, объемное соотношение СО₂ является важной, но часто игнорируемой переменной. Как правило, более высокое объемное соотношение СО₂ приводит к более высокой инактивации [27]. Результаты данного обзора показывают целесообразность и необходимость проведения дальнейших исследований по изучению объемного соотношения СО₂, а также и для других пищевых продуктов.

Применение более высоких температур приводило к большей инактивации микроорганизмов [31, 39, 51, 53]. Более высокие температуры улучшают диффузию СО₂ и увеличивают текучесть клеточной мембраны, улучшая проникновение СО₂ в клетки [10]. Однако следует отметить, что в ходе исследований в большинстве случаев использовались мягкие температуры (< 55 °С, таблица 1). Даже когда применялись высокие температуры, они, как правило, были ниже, чем те, которые используются при традиционной термической обработке, например, для пальмового масла (70–80 вместо 110–130 °С [47]). Таким образом, технология СК-СО₂ может обеспечить инактивацию микроорганизмов в более мягких температурных условиях.

Еще одним оцениваемым параметром обработки было давление. Более высокое давление приводило к большей инактивации микробов [41, 43, 47, 48, 52]. Однако в некоторых исследованиях не сообщалось о значительном влиянии давления [27, 39]. Более высокое давление может усилить контакт клеток с СО₂ и подкисление [10], что объясняет положительное влияние давления на инактивацию микробов в большинстве исследований. Однако следует отметить, что в некоторых исследованиях используемые диапазоны давления могли быть слишком низкими для улучшения контакта СО₂ с микробными клетками. Более того, иногда может существовать оптимальное давление, и при более высоких давлениях существенного влияния не наблюдается. Эти результаты показывают, что давление следует тщательно выбирать, чтобы улучшить инактивацию микробов и исключить увеличение затрат на использование

более высокого давления без существенного влияния на скорость инактивации.

Еще одним важным фактором является время обработки. Более длительное время обработки привело к более высокой микробной инактивации [29, 39, 41]. Однако в другом исследовании не было отмечено существенного влияния продолжительности обработки [54]. Несмотря на предполагаемую более высокую микробную инактивацию при более длительном времени обработки [10], часто сообщается об «остаточном» поведении (плато), при котором увеличение времени обработки не приводит к улучшению эффектов [26, 55]. Время обработки напрямую связано с начальной микробной нагрузкой, и более длительное время воздействия необходимо, когда продукт имеет высокую начальную концентрацию бактерий, поскольку высокое количество микробов может препятствовать эффекту СО₂ [31, 55]. Таким образом, важно анализировать микробиологическое качество сырья, чтобы избежать увеличения времени обработки.

В некоторых исследованиях технология СК-СО₂ использовалась с другими ингредиентами или добавками для повышения ее эффективности в инактивации микробов. Комбинация технологии СК-СО₂ и порошка розмарина снизила микробные популяции в свином фарше [32], тогда как сочетание с надуксусной кислотой (НУК) улучшило инактивацию микробов в сыре типа моцарелла [53]. Однако свежие травы (розмарин и кориандр) не показали синергического эффекта с технологией СК-СО₂ в курином мясе [29]. Результаты показывают, что условия процесса должны быть способны извлекать противомикробные соединения из трав для создания синергетического эффекта [29]. Кроме того, следует учитывать начальную микробную нагрузку, поскольку синергетический эффект технологии СК-СО₂ и надуксусной кислоты наблюдался только при максимальной микробной нагрузке 3–4 log КОЕ/г [53].

Необходимо отметить, что в некоторых случаях для обеспечения безопасности и стабильности пищевых продуктов требуется длительное время обработки, а также высокие температуры и давления, что ограничивает использование технологии СК-СО₂ и увеличивает производственные затраты [31]. Более того, в некоторых случаях споры невозможно инактивировать, используя только технологию СК-СО₂ [50]. Таким образом, было рекомендовано одновременное применение технологии СК-СО₂ с другими технологиями [44]. Ультразвук высокой мощности (НПУ) может улучшить эффект инактивации *E. coli*, *S. cerevisiae*, *S. Enterica* спор в пищевых продуктах [31, 33, 44, 29]. Следовательно, это сократило необходимое время инактивации (30–45 минут против 15 минут) за счет усиления массообмена [31, 33]. Кроме того, для твердых продуктов (сырокопченой ветчины) погружение в солевой раствор усиливало действие СК-СО₂ –

НРУ на инактивацию *E. coli*. Этот эффект был связан с более энергичным перемешиванием образцов мяса и усилением кавитации [51].

Физико-химические, технологические и сенсорные свойства

В таблице 2 представлены результаты основных исследований влияния технологии СК-СО₂ на физико-химические, технологические и сенсорные свойства пищевых продуктов. В целом исследования были аналогичны тем, которые об-

суждались в отношении микробиологического качества [31, 33, 44, 46, 47, 50–55]. Однако необходимо отметить, что в некоторых исследованиях учитывались только физико-химические и технологические свойства [12, 22, 30], тогда как в других оценивались только микробиологическое качество [26, 27, 31, 47]. Всесторонняя оценка качества продуктов важна для определения результатов воздействия новой технологии на продукты.

Таблица 2 – Влияние технологии сверхкритического диоксида углерода (СК-СО₂) на физико-химические, сенсорные и качественные параметры пищевых продуктов

Table 2 – The influence of supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) technology on the physico-chemical, sensory and qualitative parameters of food products

Наименование продукта	Определяемые показатели	Параметры обработки	Альтернативная обработка	Результаты обработки	Источник
1	2	3	4	5	6
Гранатовый сок	Содержание фенола, антиоксидантная активность и цвет	СК-СО ₂ при 12,7 МПа, 45 °С, 40 мин	Обычная термическая обработка (90 °С, 1 мин) и процесс ННР (600 МПа, 3 мин)	Обработка только СК-СО ₂ частично инактивировал активность ПОД. Добавление аскорбиновой кислоты показало синергетический эффект. Не влияет на значения pH и TSS. Стабильный цвет до 2 недель, меньше изменения, чем после термической обработки	[39]
Яблочный сок	Полифенолоксидаза, активность пероксидазы, фенольный профиль, витамин С и сахара	СК-СО ₂ при 10, 30 и 60 МПа, 45 °С, 30 мин	Необработанный образец	Никаких изменений pH и TSS. Хранение вызвало гидролиз сахарозы (15 %)	[30]
Яблочный сок, обогащенный водным экстрактом корня <i>Pfaffia glomerata</i>	pH и содержание растворимых сухих веществ, бета-экдизон, сахара и ФОС	СК-СО ₂ при 8 и 21 МПа, 40 и 60 °С, 10 мин	Термическая обработка при 105 °С в течение 10 мин, необработанный образец	Никаких изменений в pH, содержании растворимых твердых веществ и содержании сахара. Высокотемпературная термическая обработка снизила содержание сахарозы	[22]
Клубничный сок	Полифенолоксидаза, активность пероксидазы, антоцианы, витамин С и сахара во время хранения	СК-СО ₂ при 10, 30 и 60 МПа, 35, 45 и 65 °С, 10, 20 и 30 мин	Необработанный образец	Пероксидазы снизились на 85 %, а полифенолоксидазы были инактивированы. Гидролиз сахара. Изменения цветовых параметров, но приводящие к низким коэффициентам ΔE	[41]
Апельсиновый сок	Витамин С, органолептические показатели, мутность, общая кислотность, pH и °Brix	СК-СО ₂ при 25 МПа, 40 °С, 90 мин	Термическая обработка при 70 °С в течение 7,2 с, необработанный образец	Никаких различий в цветовых параметрах, pH, общей кислотности, TSS и мутности не установлено. Сенсорные характеристики, аналогичные свежевыжатому	[43]
Апельсиновый сок	pH, °Brix и титруемая кислотность, цвет, аскорбиновая кислота и остаточное содержание СО ₂	СК-СО ₂ при 7,6 МПа, 42 °С, 20 мин	Термическая обработка при 90 °С в течение 60 с, необработанный образец	Никаких изменений pH, Brix и титруемой кислотности. Изменения цветовых параметров, но приводящие к низким коэффициентам ΔE , 50 % снижение СО ₂	[46]

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА
УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ**

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6
Монгольский сыр	Профиль текстуры, летучие соединения и сенсорный анализ во время хранения	СК-СО ₂ при 10, 15 и 20 МПа, 40, 50 и 60 °С, 60 мин	Необработанный образец	СК-СО ₂ сохраняет стабильность текстуры при хранении, снижает содержание летучих соединений (кислот и сложных эфиров), избегая появления посторонних привкусов. Не влияет на органолептические свойства	[52]
Молоко	Щелочная фосфатаза	СК-СО ₂ при 8–18 МПа, 30–70 °С, 10–30 мин	Необработанный образец	Инактивация фермента 94,5 % была достигнута при 70 °С, 8 МПа, в течение	[26]
Сывороточно-виноградный коктейль	pH, титруемая кислотность, общее количество растворимых сухих веществ, фенольные соединения, антоцианы, DPPH, активность ACE и летучие соединения	СК-СО ₂ при 14, 16 и 18 МПа, 35 °С, 10 мин	Термическая обработка при 72 °С в течение 15 с, образец не подвергался обработке	pH, титруемая кислотность, растворимые сухие вещества были одинаковыми. В обработанных продуктах выявлены кетоны и кислотные соединения	[28]
Сывороточно-виноградный коктейль	Цвет, размер частиц, тесты на реологию, физическая стабильность и органолептическая приемлемость	СК-СО ₂ при 14, 16 и 18 МПа, 35 °С, 10 мин	Термическая обработка при 72 °С в течение 15 с, образец не подвергался обработке	Изменения цветовых параметров, но не приводящие к визуальным изменениям. Не влияет на кажущуюся вязкость. Меньший диаметр частиц и индекс консистенции. Органолептические показатели не изменились	[23]
Сывороточный напиток Soursop, обогащенный инулином	pH, растворимые сухие вещества, микроструктурные характеристики, реологическое изменение, параметры цвета и кинетика фазового разделения	СК-СО ₂ при 10 и 20 МПа, 35 и 55 °С, 20 мин	–	Никаких изменений физико-химических и цветовых показателей. Температура и объемное соотношение СО ₂ оказали влияние на микроструктуру, реологическое поведение и кинетическую стабильность	[56]
Ветчина сыровяленая	pH, цветной и сенсорный анализ (описательный анализ)	СК-СО ₂ при 8 и 12 МПа, 35, 40, 45 и 50 °С, 5, 15 и 60 мин	Необработанный образец	Изменения цвета (меньшие значения L* и более высокие значения a* и b*). Никаких изменений pH. При органолептическом анализе не было обнаружено различий в текстуре и аромате. Обработанные образцы были признаны менее яркими, с низкой общей однородностью цвета и интенсивностью цвета, чем необработанные образцы	[54]
Вареная ветчина	Текстура, pH и цвет во время хранения	СК-СО ₂ при 8, 10 и 12 МПа, 40, 45 и 50 °С, 5, 10 и 15 мин	Необработанный образец	Цветовые параметры после процесса существенно не увеличились; однако через 30 дней необработанные и обработанные образцы показали значительное снижение светлоты (L*) и увеличение покраснения (a*). pH и текстура существенно не изменились	[55]
Сырое куриное мясо	Текстура, pH и цвет	СК-СО ₂ при 8 и 14 МПа, 40 °С, 15, 30 и 45 мин	Образец необработанный и термообработанный (80 °С, около 1 ч)	Никаких изменений в тесте на усилие резания и твердости для 8 МПа. Более низкие значения pH. Увеличение светлоты (L*) и уменьшение красноты (a*) на поверхности	[29]

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6
Свежая ку-рица	pH, потери при варке, водоудерживающая способность, текстура, цвет, перекисное окисление липидов при хранении	СК-СО ₂ при 2 и 14 МПа, 45 °С, 40 мин	Необработанный образец	Никаких изменений pH, потерь при приготовлении и водоудерживающей способности в результате обработки. Обработка СК-СО ₂ привела к более твердой текстуре, большей светлоте и желтизне, а также уменьшению покраснений. Не влияет на цвет, аромат, вкус, сочность, нежность	[57]
Свиной фарш	pH, общий летучий основной азот, окисление липидов и цвет при хранении	СК-СО ₂ при 13,8 МПа, 35°С, 120 мин	Необработанный образец	Более высокие значения pH. Более высокие значения	[32]

Обозначение: HPP – высокое гидростатическое давление; ПМЭ – пектинметилэстераза; ПОД – полифенолоксидаза; СВ – общее количество растворимых сухих веществ.

Как видно из таблицы 2, большинство исследований связано с фруктово-овощной продукцией, в основном соками, но есть также исследования с мясом (ветчина, курица и свинина) и молочными продуктами (молоко и сыр). Преобладание фруктовых соков и других жидких напитков может быть связано с имеющимся оборудованием и возможностью эффективной обработки жидких продуктов. Это приводит к соответствующей микробной инактивации без негативного воздействия на качество и сенсорные параметры, в отличие от воздействия традиционной термической обработки.

Инактивация ферментов

Оксидоредуктивные ферменты, такие как полифенолоксидаза (ПФО) и пероксидаза (ПОД), могут проявлять активность во время обработки и хранения пищевых продуктов, вызывая реакции потемнения и потери качества. Инактивация этих ферментов необходима для сохранения качества продуктов на основе фруктов, и зачастую она более сложна, чем микробная инактивация [39]. Инактивация ПФО оказалась эффективной во фруктовых и овощных соках [41, 57]. В то же время инактивация ПОД была эффективной в овощном соке [57]. Однако в других исследованиях с фруктовыми соками полная инактивация ПОД и/или ПФО не достигнута [39]. Следует отметить, что даже если полная инактивация ферментов не была достигнута, активность ферментов во время хранения не вызывала изменения качества продуктов [41]. Необходимо отметить целесообразность оценки эффективности технологии СК-СО₂ в каждом продукте, поскольку степень инактивации зависит от пищевого продукта.

Ферменты гидролазы, такие как пектинметилэстераза (ПМЭ) и пектинэстераза (ПЭ), ответственны за деградацию пектина клеточной стенки, что может отрицательно влиять на качество пищевых продуктов, приводя к снижению

вязкости и изменению параметров мутности и цвета продукта [57]. Технология СК-СО₂ способна инактивировать или снизить активность ПМЭ во фруктовых и овощных соках [46, 57]. Также щелочная фосфатаза является эндогенным ферментом молока, и ее инактивация используется в качестве стандартного теста для оценки эффективности пастеризации. Технология СК-СО₂ снижала активность щелочной фосфатазы в молоке до 94,5 % [26].

Как правило, более высокие температуры и давления, а также длительное время обработки приводили к более высокой и/или более быстрой инактивации ферментов [59–60]. Однако более жесткие параметры обработки могут повлиять на пищевую ценность и/или сенсорные характеристики продуктов, при этом происходила в некоторых случаях частичная инактивация [57]. Кроме того, получены результаты, что некоторые пищевые добавки улучшают инактивацию ферментов без радикальных условий обработки. Например, в гранатовый сок была добавлена аскорбиновая кислота (0,1 %), которая показала синергетический эффект с технологией СК-СО₂ на инактивацию ферментов [39]. Сообщалось о нескольких механизмах действия денатурации фермента, таких как нарушение водородных связей и гидрофобных взаимодействий, что приводит к разворачиванию полипептидной цепи фермента, конформационных изменений из-за более низких значений pH и взаимодействия СО₂ с аминокислотными остатками в белках [10, 21].

pH, общее количество растворимых сухих веществ (СВ) и содержание сахаров

Влияния технологии СК-СО₂ на величину pH и/или общее содержание растворимых сухих веществ (СВ) в процессе обработки фруктовых соков не установлено [13, 39, 41, 46, 56], а также мясных продуктов (сырокопченая и вареная ветчина) [54, 55]. Только в двух исследованиях

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

сообщалось о влиянии на значения pH: значение pH было немного ниже для куриного мяса и немного выше значения pH для фарша из свинины [29, 32]. Во время обработки СК-СО₂ может наблюдаться небольшое и временное снижение pH в жидкой системе из-за образования угольной кислоты. Однако pH обычно возвращается к своему первоначальному значению после этапа сброса давления, не влияя на значения pH жидких продуктов [22]. Значения pH и/или СВ также не изменялось во время хранения [22, 30, 43]. Стабильность значений pH важна для поддержания биологически активных соединений, сенсорных свойств и микробной стабильности. В то же время изменения СВ могут способствовать изменению органолептических показателей фруктовых соков, что повлечет несоответствие нормативным требованиям, поскольку для этих продуктов обычно устанавливаются минимальные значения. Таким образом, в целом технология СК-СО₂ не влияет на значения pH и СВ жидких продуктов, но влияние на твердые продукты остается неясным. Также исследовали влияние обработки СК-СО₂ на содержание сахаров. В яблочном соке изменений не установлено, тогда как в клубничном соке сообщалось о гидролизе сахарозы [22, 41]. Влияние на содержание сахара зависит от вида продукта и параметров обработки. Более высокая кислотность во время обработки СК-СО₂ может ускорить реакции гидролиза [41].

Параметры цвета и мутность

Цвет считается одним из основных параметров качества и потребительского восприятия пищевых продуктов. В большинстве исследований технология СК-СО₂ не оказывала влияния на параметры цвета (L^* , a^* и b^*) [39, 46, 54]. Сообщалось о положительных изменениях цветовых параметров других продуктов, таких как более интенсивные и более светлые цвета [30, 41]. Как правило, пигменты не разрушаются при использовании технологии СК-СО₂, поскольку давление практически не влияет на ковалентные связи. Кроме того, при применении в определенных условиях технология СК-СО₂ может инактивировать ферменты и микроорганизмы, модифицирующие цвет, что приводит к стабильности цвета [43]. Также высокое давление может способствовать высвобождению пигментов из пищевой матрицы во время обработки, в результате чего получают продукты с более интенсивными цветовыми характеристиками [16].

Вместе с тем сообщалось о нежелательных изменениях цвета некоторых продуктов, в основном о более темном цвете [46, 55] и обесцвечивании [28, 29, 32]. Более темный цвет может быть связан с реакциями потемнения, которые инициируют ферментативную деградацию полифенолов до хинонов и последующее образование пигментов [29]. В данном случае используемые параметры обработки, вероятно, не смогут эффективно инактивировать ферменты. Обесцвечивание других продуктов может быть

связано с изменениями размера частиц в продуктах, обработанных СК-СО₂, увеличивающими их дисперсность и способствующими отражению света [16, 39, 41]. Более бледный цвет мяса, вероятно, связан с денатурацией саркоплазматического белка [29, 32]. Однако в целом изменения, вероятно, не наблюдались визуально, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты ΔE . Важно подчеркнуть, что во время хранения не было зарегистрировано никаких изменений цвета или минимальных изменений по сравнению с продуктами, прошедшими термическую обработку [39, 43]. Снижение активности фермента необходимо во избежание реакций потемнения и контроля параметров процесса для предотвращения избыточной денатурации белка.

Мутность является одним из важных показателей для фруктовых соков. В некоторых соках, таких как апельсиновый и неосветленный яблочный сок, мутность необходима; в других осветленных соках (яблочном и виноградном) мутность нежелательна. О влиянии технологии СК-СО₂ на мутность апельсинового сока не сообщалось [43]. Кроме того, стабильность к помутнению была выше в продуктах, обработанных СК-СО₂, чем в контрольных образцах [46]. Эта стабильность может быть связана с полной или частичной инактивацией ПМЭ. Кроме того, технология СК-СО₂ оказывает эффект гомогенизации, минимизируя размер частиц и повышая стабильность к помутнению [21]. Следует отметить, что необходимы дополнительные исследования для оценки влияния технологии СК-СО₂ на мутность, в основном для продуктов, для которых мутность нежелательна.

Текстурные и реологические параметры

Текстурные и реологические параметры важны для принятия продуктов потребителем, обращения с ними, хранения и реализации. В мясных продуктах технология СК-СО₂ не изменила параметры текстуры вареной ветчины [54] и куриного мяса [29, 57], при этом происходило изменение твердости и жевательной способности монгольского сыра [52]. Результаты могут быть связаны с замедлением процесса протеолиза и осаждения жира в сыре, обработанном по технологии СК-СО₂, что задерживает изменения текстуры и приводит к получению более твердых продуктов [52]. Кроме того, высокое давление в процессе воздействия технологии СК-СО₂ может повысить компактность продукта из-за его влияния на потерю белка и воды [29, 57]. СК-СО₂ является растворителем липидов и может влиять на жирность продукта, повышая его твердость и жевательную способность. Однако параметры текстуры находились в пределах эталонных значений, полученных в предыдущих исследованиях, и имели высокую стабильность при хранении [52]. В жидких пищевых продуктах технология СК-СО₂ снизила индекс консистенции и улучшила текучесть сы-

вороточных напитков [28, 56]. Эффективность была значимой при более высоком объемном соотношении CO_2 и температуре [56]. Кроме того, кажущаяся вязкость не изменилась в сыровороточно-виноградных напитках, но снизилась в сыровороточных напитках из сметанного яблока. Высокое давление в технологии СК- CO_2 вызывает увеличение напряжений в системе, что приводит к разрыву агрегатов, образованию частиц меньшего диаметра и продуктов меньшей консистенции. Это также может дестабилизировать гелевую сетку, образованную ингредиентами [28, 56]. В случае сыровороточного напитка из сметанного яблока присутствовали инулин, геллановая камедь и молочные белки, что объясняет более низкую кажущуюся вязкость [56]. В итоге это может вызвать структурные изменения в белках, изменяя реологическое поведение, главным образом за счет снижения консистенции [28]. Сыровороточные напитки характеризуются как жидкие продукты; следовательно, технология СК- CO_2 могла способствовать улучшению реологических свойств продуктов за счет снижения индекса консистенции и, в некоторых случаях, кажущейся вязкости. Однако важно оценить влияние технологии СК- CO_2 на продукты с более высокой вязкостью, такие как йогурты, поскольку этот эффект может негативно повлиять на восприятие продуктов потребителем. В связи с этим необходимы дополнительные исследования по установлению конкретных параметров, главным образом давления, для получения продуктов, обработанных СК- CO_2 , со свойствами текстуры, аналогичными необработанным продуктам. Также следует отметить, что влияние технологии СК- CO_2 на текстуру более выражено для сложных продуктов, содержащих ингредиенты с разнообразными физико-химическими свойствами, и влияние технологии СК- CO_2 не следует экстраполировать. Поэтому применение технологии СК- CO_2 для продуктов с высоким содержанием белка и жира должно быть тщательно оценено из-за их модификации под высоким давлением и последующих изменений в текстуре продуктов.

Летучие соединения

Летучие соединения являются важными составляющими общего аромата и вкуса пищевых продуктов. Поэтому важно сохранять летучие соединения пищевых продуктов при их обработке. В ходе обзора научных исследований нами установлено только два исследования по оценке влияния технологии СК- CO_2 на состав летучих соединений пищевых продуктов, где сообщается о сохранении или улучшении состава летучих веществ после обработки при умеренном давлении по сравнению с контрольными и/или термически обработанными продуктами. Кроме того, сообщалось о более низких концентрациях летучих соединений, вызывающих неприятный привкус во время хранения, чем в необработанных продуктах [28, 56]. Одна-

ко применение более высокого давления привело к потере некоторых летучих соединений [28]. Некоторые летучие соединения демонстрируют низкую термическую стабильность в пищевых продуктах, что приводит к снижению концентрации летучих соединений после традиционной термической обработки [61]. Кроме того, нагревание может привести к реакции Майяра и окислению липидов в итоге к образованию нежелательных соединений. Однако низкое давление в технологии С-СК- CO_2 может увеличить гомогенизацию и выделение летучих соединений. Кроме того, обработка может способствовать активации ферментов, изменениям в метаболических субстратах ароматических соединений (в основном аминокислот и жирных кислот) и/или большему сохранению типичных ароматических соединений во время обработки из-за его низкого воздействия на структуру этих небольших молекулярных соединений. Однако при более высоких давлениях могут возникать реакции разложения [28, 62]. В этих случаях целесообразно восстановить летучие соединения в выходной системе и повторно включить их в продукты [28]. На основании анализа опубликованных научных исследований можно сделать вывод, что исследований по оценке летучих соединений недостаточно, чтобы точно определить влияние технологии СК- CO_2 на каждое летучее соединение, поэтому необходимо проведение дальнейших исследований для целевых летучих веществ в зависимости от пищевой матрицы. В целом технология СК- CO_2 оказывает меньшее влияние на состав летучих соединений продуктов по сравнению с традиционной термической обработкой при использовании оптимизированных параметров процесса. Таким образом, технология СК- CO_2 может оказаться перспективной для сохранения исходного ароматического профиля пищевых продуктов.

Биологически активные соединения и антиоксидантная активность

Биологически активные соединения

Биологически активные соединения, как правило, чувствительны к воздействию термической обработки, поэтому использование нетермических технологий может способствовать сохранению содержания этих соединений в пищевых продуктах. В таблице 3 обобщены основные результаты исследования влияния технологии СК- CO_2 на биологически активные соединения и антиоксидантную активность пищевых продуктов. Результаты влияния технологии СК- CO_2 на общее количество фенолов, антоцианов и/или флаванонов были противоречивыми: сохранение [28], увеличение [39, 63], а в некоторых и снижение содержания [54, 64]. Однако их содержание было выше в продуктах, обработанных СК- CO_2 , чем в продуктах, подвергшихся традиционной термической обработке [63].

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА
УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ**

Таблица 3 – Влияние технологии сверхкритического диоксида углерода (СК-СО₂) на содержание биологически активных соединений в пищевых продуктах

Table 3 – The effect of supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) technology on the content of biologically active compounds in food products

Наименование пищевого продукта	Цель воздействия	Параметры воздействия	Альтернативная обработка	Основные результаты	Источник
Апельсиновый сок	Витамин С, антоцианы, общее количество флавонов и общее количество фенольных соединений	СК-СО ₂ при 130–230 бар, 36 °С, 15 мин	Необработанный сок и термическая обработка при 90 °С в течение 30 с	Апельсиновый сок, обработанный СК-СО ₂ , привел к более высоким значениям флавононов, общего количества антоцианов, фенольных соединений и антиоксидантной способности, чем пастеризованный продукт	[46]
Апельсиновый сок	Концентрация витамина С	СК-СО ₂ при 25 МПа, 40 °С, 90 мин	Термическая обработка при 90 °С в течение 60 с и необработанный образец	Сок, обработанный СК-СО ₂ , сохранил 88 % витамина С, тогда как термически обработанный – 57 %	[43]
Гранатовый сок	Общее содержание фенола и антиоксидантная активность	СК-СО ₂ при 12,7 МПа, 45 °С, 40 мин	Обычная термическая пастеризация (90 °С, 1 мин) и процесс высокого гидростатического давления (600 МПа, 3 мин)	Сок, обработанный СК-СО ₂ , увеличение общего содержания фенолов на 22 %; в термообработанном образце снижение на 15 %. Сок, обработанный СК-СО ₂ , имел антиоксидантную активность ниже (32 %), чем остальные образцы (44,5–68 %)	[39]
Виноградный сок с сывороткой	Фенольные соединения, антоцианы, активность DPPH и ACE	СК-СО ₂ при 14, 16 и 18 МПа, 35 ± 2 °С, 10 мин	Пастеризация (72 °С, 15 с)	Обе обработки не влияли на общее количество фенолов, общее количество антоцианов и активность DPPH. Установлена прямая связь между ингибирующей активностью АПФ и повышением давления: 34,63 %, 38,75 % и 44,31 % (14, 16 и 18 МПа соответственно)	[28]
Сок черной смородины	Стабильность, антиоксидантная способность и биодоступность витамина С и антоцианы	СК-СО ₂ при 10, 30 и 60 МПа, 45 °С, 10 мин	Термическая обработка при 45 и 85 °С в течение 10 мин и необработанный образец	Сок, обработанный СК-СО ₂ , имел большую стабильность витамина С, общих антоцианов и антиоксидантную способность, чем термически обработанный	[63]
Клубничный сок	Антоцианы, витамин С	СК-СО ₂ при 10, 30 и 60 МПа, 35, 45 и 65 °С, 10, 20 и 30 минут	Необработанный образец	Антоцианы не подверглись воздействию обработки. с СК-СО ₂ . При хранении произошла полная деградация. витамин С (до четвертой недели) и деградация почти 90 % антоцианов	[41]
Клубника	Витамин С, общий антоциан и флавоноиды	СК-СО ₂ при 13,3 МПа, 40 °С, 7 ч	Необработанный образец	Сушеная клубника, обработанная СК-СО ₂ , сохраняет общее содержание витамина С (358,5 мг/100 г), 95 % общего количества антоцианов (61,68 мг/100 г) и 76 % общего содержания флавоноидов (25,85 мг/100 г). 100 г по сравнению со свежими образцами	[48]

Сокращения: АПФ, ангиотензинпревращающий фермент; DPPH – 2,2-дифенил-1-пикрилгидразилгидрат; TFC – общее количество флавоноидных соединений; TPC – общее количество фенольных соединений.

Сохранение биоактивных соединений после обработки СК-СО₂ может быть связано с сопутствующими процессами деградации одних соединений и усиленной экстракции других под действием давления [30]. Кроме того, это связано с более низкой концентрацией ингибирующих соединений в продуктах, обработанных СК-СО₂, таких как фурфурол, обычно образующихся после традиционной термической обработки. Эти соединения могут образовывать продукты конденсации с полифенолами и антоцианами, снижая их содержание. Также недостаток растворенного кислорода может предотвратить разложение фитонутриентов [28]. Учитывая результаты исследований, в которых сообщалось о повышении концентрации биоактивных соединений после обработки СК-СО₂, повышенная кислотность во время повышения давления может увеличить гидролиз полифенолов и способствовать высвобождению простых фенольных соединений, что приводит к более высоким концентрациям [30]. Кроме того, технология СК-СО₂ способствует уменьшению размера, улучшая массоперенос и скорость извлечения биологически активных соединений фитовеществ [16]. Необходимо отметить, что в большинстве исследований проведена оценка только общего содержания биологически активных соединений, ограничивая выводы только общей эффективностью новой технологии. Поэтому дальнейшие научные исследования должны быть сосредоточены на влиянии технологии СК-СО₂ на отдельные соединения пищевых продуктов, с целью оценки воздействия и возможных последствий на антиоксидантную активность.

Витамин С (аскорбиновая кислота) выполняет в организме человека несколько функций, таких как метаболизм тирозина и углеводов, синтез липидов и белков, а также усвоение железа. В ходе исследований установлено, что влияние технологии СК-СО₂ на витамин С также было неоднозначным: сохранение концентрации [46, 48], увеличение [63], а в некоторых исследованиях происходило снижение его содержания в обработанном продукте и пониженное [41, 43]. Сохранение витамина С в продуктах, обработанных СК-СО₂, было связано с заменой кислорода на СО₂ [43]. Однако, как уже отмечалось ранее, содержание витамина С все же было выше в продуктах, обработанных СК-СО₂, чем в продуктах, обработанных традиционными термическими методами.

Результат влияния технологии СК-СО₂ оценивалось также и на другие соединения, оказывающие положительное влияние на организм человека. Сообщалось о сохранении содержания, аналогичного необработанным продуктам, например, эллаговой кислоты, цианидин-3,5-диглюкозида, цианидина-3-глюкозида, дельфинидина-3,5-диглюкозида, дельфинидина-3-глюкозида и пеларгонидина-3-диглюкозида в гранатовом соке [39], протокатехиновой, хло-

рогеновой кислотах, рутина и инулина в яблочном соке [56], кофейной кислоты, эпикатехина и рутина в замороженном соке личи [20], фруктоолигосахариды (ФОС, 1-kestоза, нистоза и фруктофуранозилнистоза) и бета-экидизон в яблочном соке с добавлением водного экстракта *Paffia glomerata* [13], а также витамины В₁, В₂, и В₃ в курином мясе [33]. Поддержание содержания ФОС и инулина имеет первостепенное значение из-за их пребиотических свойств. Если разложение пребиотических соединений будет высоким, предприятиям придется добавлять их в более высоких концентрациях, что приведет к увеличению стоимости продуктов [16]. Бета-экидизон обладает противовоспалительными и антианальгетическими свойствами [22]. Таким образом, следует отметить, что обработка продуктов СК-СО₂ способствует сохранению биологически активных соединений на уровне необработанных продуктов. Вместе с тем, в ходе исследований получены результаты, показывающие о снижении содержания таких соединений, как галловая кислота, хлорогеновая кислота, катехин, эпикатехин, процианидин В₁ и В₂ и флоридзин в яблочном соке [30]. В ходе хранения происходят естественные процессы окисления, однако продукты, обработанные СК-СО₂, были более стабильными, чем продукты, обработанные термически [39]. Существуют различия в устойчивости фенольных соединений к технологии СК-СО₂, а галловая кислота считается наиболее чувствительным соединением. Поэтому необходимо продолжать научные исследования с целью установления оптимальных параметров обработки для поддержания максимального содержания биологически активных соединений.

Хотя концентрация биологически активных соединений, благотворно влияющих на организм, является приемлемым параметром для определения, их потенциал влияния на здоровье человека в основном измеряется с использованием подходов биодоступности *in vitro*. Биодоступность – это количество активного соединения, высвобождаемого из пищевого матрикса и доступного для всасывания в кровоток [63]. Нами установлено, что на момент написания данного обзора только в одном исследовании оценивалось влияние технологии СК-СО₂ на биодоступность полезных для здоровья соединений, при этом не было отмечено никаких изменений в отношении витамина С и антоцианов [63]. Это в очередной раз подтверждает необходимость дальнейших научных исследований в данном направлении.

Антиоксидантная активность

Обзор результатов научных исследований показал, что антиоксидантную активность пищевых продуктов оценивали с использованием нескольких методик, таких как 2,2-дифенил-1-

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

пикрилгидразилгидрат (DPPH), 2,2'-азинобис-(3-этилбензотиазолин-6-сульфоновая кислота) (ABTS), способность поглощать кислородные радикалы и антиоксидантную способность, эквивалентную Тролоксу. Технология СК-СО₂ способствовала сохранению антиоксидантной активности пищевых продуктов, аналогичную активность необработанных продуктов, таких как фруктовые соки [27, 63] и фруктовые напитки с сывороткой [28]. Напротив, традиционная термическая обработка снижала антиоксидантную активность некоторых пищевых продуктов [63]. Сохранение антиоксидантной активности было связано с поддержанием концентрации биологически активных соединений.

Ангиотензинпревращающий фермент (АПФ) отвечает за расщепление субстратов, участвующих в регуляции артериального давления, то есть ангиотензина и брадикинина. Ингибирование АПФ используют в качестве параметра для оценки возможного антигипертензивного действия пищевых продуктов [28]. Обработка СК-СО₂ способна повысить ингибирующую активность АПФ сывороточно-виноградных напитков, главным образом, при более высоких давлениях. Авторы исследования высказали предположение, что в ходе использования технологии СК-СО₂ происходит взаимодействие с биологически активными соединениями виноградного сока, в ходе которого происходит увеличение ингибирующей активности АПФ [28]. Следует отметить, что это исследование *in vitro* показывает возможное антигипертензивное действие продуктов, обработанных СК-СО₂, что открывает возможности для исследований *in vivo* на животных или клинических испытаний.

ВЫВОДЫ

Исследования, проведенные в течение более двух десятилетий, направлены на разработку эффективных технологий, гарантирующих не только безопасность пищевых продуктов, но и повышение их качества (улучшение внешнего вида, сохранение пищевой ценности и т. д.), увеличение срока хранения и снижение производственных затрат. Обзор результатов проведенных научных исследований показал, что микробная инактивация с использованием технологии сверхкритического диоксида углерода приводит к снижению микроорганизмов, вызывающих порчу и патогенных микроорганизмов больше чем на 5 log КОЕ/мл, помимо денатурации ферментов и стабильности обработанных продуктов в процессе хранения. Обработка продуктов питания СК-СО₂ способствует сохранению их органолептических и физико-химических показателей, изначального содержания биологически активных соединений и антиоксидантной активности. С целью повышения эффективности воздействия необходима оптимизация параметров обработки с целью снижения

температуры и времени обработки и, следовательно, затрат на обработку. Обработка пищевых продуктов технологией СК-СО₂, для обеспечения безопасности и микробиологической стабильности которых необходимо проводить с использованием высоких температур и давления, целесообразно сочетать с использованием противомикробных соединений. Комбинированное воздействие позволит не только обеспечить безопасность продуктов, но и снизить производственные затраты.

Необходимо продолжать научные исследования по обработке технологией сверхкритического давления диоксида углерода различных видов как сырья, так и готовых пищевых продуктов, в основном с твердых, поскольку их состав и пищевая ценность и связанная с ними порча и патогенная микробиота не позволяют на данный момент сделать общие выводы об эффективности технологии СК-СО₂. Важное значение имеют исследования по определению срока годности обработанных продуктов, поскольку после использования СК-СО₂ может происходить восстановление и рост микроорганизмов. Кроме того, биодоступность полезных для здоровья соединений и оценка биологической активности в исследованиях *in vitro* и *in vivo* имеют первостепенное значение для доказательства благотворного воздействия этой технологии. Следует проводить дальнейшие исследования для оценки влияния технологии СК-СО₂ на органолептические показатели качества и, главным образом, на восприятие потребителем пищевых продуктов, обработанных СК-СО₂. С целью дальнейшего широкого промышленного внедрения данной технологии необходимо проведение технико-экономической эффективности данного способа обработки. Необходимо оценить, будут ли оправданы инвестиционные затраты и технические проблемы для достижения качественных физико-химических и органолептических показателей продуктов питания, обработанных СК-СО₂. Высокие капитальные вложения являются главным недостатком, но более экологичный подход и снижение эксплуатационных расходов могут способствовать ее внедрению, потому как важным фактором является возрастающий потребительский спрос на технологии переработки с минимальным воздействием на качество продуктов питания и окружающую среду.

Вместе с тем важно определить цену обработанной продукции, поскольку от нее зависит готовность потребителей покупать данные продукты. Хотя многие исследования показали, что потребители были готовы платить более высокую цену за более полезные, с высокой пищевой ценностью и экологически чистые продукты питания. Потребительский спрос на более здоровые продукты питания является важным фактором, определяющим успешную реа-

лизацию и поддержание инициатив в сфере розничной торговли здоровыми продуктами питания.

Важным аспектом является нормативное законодательство, так как на сегодняшний день во всех странах ЕС, Российской Федерации, странах Таможенного Союза и многих других пищевые продукты, обработанные СК-СО₂, рассматриваются как новые продукты, для которых необходимо разработка и утверждения на законодательном уровне нормативной документации и получение разрешения на промышленное производство.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Burak, L.Ch., Sapach, A.N. Use of ohmic heating technology in the process of processing fruits and vegetables. Review of the subject field // *Food systems*. 2024. No. 7(1). P. 59-70. 73. (In. Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70>.
- Chacha, J.S., Zhang, L., Ofoedu, C.E., Suleiman, R.A., Dotto, J.M., Korzwiniowska, M. & Guiné, R.P. Revisiting non-thermal food processing and preservation methods-Action mechanisms, pros and cons: A technological update (2016–2021) // *Foods*. 2021. V. 10(6). p. 1430. <https://doi.org/10.3390/foods10061430>.
- Liu, J., Bi, J., McClements, D.J., Liu, X., Yi, J., Lyu, J., Zhou, M., Verkerk, R., Dekker, M., Wu, X. & Liu, D. Impacts of thermal and non-thermal processing on structure and functionality of pectin in fruit-and vegetable-based products: A review // *Carbohydrate Polymers*. 2020. V. 250. p. 116890. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116890>.
- Burak, L.Ch. The use of modern processing technologies to increase the shelf life of fruits and vegetables. Review of the subject field // *Polzunovsky Bulletin*. 2024. No. 1. P. 99-119 (In. Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013>.
- Burak, L.Ch. Modern methods of food processing. Critical review // *The Scientific Heritage*. 2024. No. 130(130). pp. 45-59. (In Russ.). <https://doi.org/10.5281/zenodo.10632041>.
- Martins, I.B.A., Oliveira, D., Rosenthal, A., Ares, G. & Deliza, R. Brazilian consumer's perception of food processing technologies: A case study with fruit juice // *Food Research International*. 2019. V. 125. P.108555.
- Dhakane-Lad, J., Kar, A. & Patel, A.S. SC-CO₂ extraction of lycopene from red papaya using rice bran oil as a co-solvent lessens its degradation during storage. *Separation Science and Technology*. 2023. V.58(13). pp. 23572368. <https://doi.org/10.1080/01496395.2023.2255738>.
- Kariyawasam, T., Doran, G.S., Howitt, J.A. & Prenzler, P.D. Optimization and comparison of microwave-assisted extraction, supercritical fluid extraction, and eucalyptus oil-assisted extraction of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil and sediment // *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2023. V. 42(5). p.982994. <https://doi.org/10.1002/etc.5593>.
- Luca, S.V., Zengin, G., Sinan, K.I., Korona-Glowniak, I., Minceva, M., Skaliccka-Wozniak, K. & Trifan, A. Value-added compounds with antimicrobial, antioxidant, and enzyme-inhibitory effects from post-distillation and post-supercritical CO₂ extraction byproducts of rosemary // *Antioxidants*. 2023. V. 12(2). p. 244. <https://doi.org/10.3390/antiox12020244>.
- Wang, W., Rao, L., Wu, X., Wang, Y., Zhao, L. & Liao, X. Supercritical carbon dioxide applications in food processing // *Food Engineering Reviews*. 2021. V. 13. pp. 1-22. <https://doi.org/10.1007/s12393-020-09270-9>.
- Allai, F.M., Azad, Z.A.A., Mir, N.A. & Gul, K. Recent advances in non-thermal processing technologies for enhancing shelf life and improving food safety // *Applied Food Research*. 2022. V. 3(1). p. 100258. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100258>.
- Amaral, G.V., Silva, E.K., Costa, A.L.R., Alvarenga, V.O., Cavalcanti, R.N., Esmerino, E.A., Guimarães, J.T., Freitas, M.Q., Sant'Ana, A. S., Cunha, R.L., Moraes, J., Silva, M.C., Meireles, M.A.A. & Cruz, A. G.Whey-grape juice drink processed by supercritical carbon dioxide technology: Physical properties and sensory acceptance // *LWT*. 2018. V. 92. pp. 80-86. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.005>.
- Silva, E.K., Meireles, M.A.A. & Saldaña, M.D. Supercritical carbon dioxide technology: A promising technique for the non-thermal processing of freshly fruit and vegetable juices // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. V. 97. pp. 381390. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.025>.
- Almada, C.N., Almada-Érix, C.N., Bonatto, M.S., Pradella, F., dos Santos, P., Abud, Y.K.D., Farias, A.S., Martínez, J., Sant'Anna Filho, C.B., Lollo, P.C., Cost, W.K.A., Magnani, M., & Sant'Ana, A.S. Obtaining paraprobiotics from *Lactobacillus acidophilus*, *Lactocaseibacillus casei* and *Bifidobacterium animalis* using six inactivation methods: Impacts on the cultivability, integrity, physiology, and morphology // *Journal of Functional Foods*. 2021. V. 87. p. 104826. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104826>.
- Almada, C.N., Almada-Erix, C.N., Roquette, A.R., Santos-Junior, V.A., Cabral, L., Noronha, M.F., Gonçalves, A.E.S.S., dos Santos, P., dos Santos, A., Martínez, J., Lollo, P.C., Costa, W.K.A., Magnani, M. & Sant'Ana, A.S. Paraprobiotics obtained by six different inactivation processes: Impacts on the biochemical parameters and intestinal microbiota of Wistar male rats // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2021. V. 72(8). pp. 1057-1070. <https://doi.org/10.1080/09637486.2021.1906211>.
- Ferreira, D.P., Magnani, M., Silva, F.A., de Oliveira, L.H., Rosset, M., Verruck, S. & Pimentel, T.C. Understanding the potential of ultrasound as an innovative tool for microbial inactivation, functionalization of plant-based foods, and improvements of functional food potential // *Food Bioscience*. 2023. V. 56. p. 103342. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103342>.
- Pedrosa, G.T.S., Pimentel, T.C., Gavahian, M., de Medeiros, L.L., Pagán, R. & Magnani, M. The combined effect of essential oils and emerging technologies on food safety and quality // *LWT*. 2021. V. 147. p. 111593. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111593>.
- Pravallika, K., Chakraborty, S. & Singhal, R. S. Supercritical drying of food products: An insightful review // *Journal of Food Engineering*. 2022. V. 343. p. 111375. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111375>.
- Smigic, N., Djekic, I., Tomic, N., Udovicki, B. & Rajkovic, A. The potential of foods treated with supercritical carbon dioxide (SC-CO₂) as novel foods // *British Food Journal*. 2019. V. 121(3). pp. 815-834. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2018-0168>.
- Buszewski, B., Wrona, O., Mayya, R.P., Zakharenko, A.M., Kalenik, T.K., Golokhvast, K.S., Piekoszewski, W., & Rafińska, K. (2021). The potential application of supercritical CO₂ in microbial inactivation of food raw materials and products. // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. V. 62(24). pp. 65356548. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1902939>.
- Chen, Z., Spilimbergo, S., Mousavi Khaneghah, A., Zhu, Z. & Marszałek, K. The effect of supercritical carbon dioxide on the physiochemistry, endogenous enzymes, and nutritional composition of fruit and vegetables and its prospects for industrial application: A overview // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Dec 28. pp. 115. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2157370>.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ОБЗОР ПРЕДМЕТНОГО ПОЛЯ

22. Silva, E.K., Bargas, M.A., Arruda, H.S., Vardane-ga, R., Pastore, G.M. & Meireles, M.A.A. Supercritical CO₂ processing of a functional beverage containing apple juice and aqueous extract of *Puffia glomerata* roots: Fructooligosaccharides chemical stability after non-thermal and thermal treatments // *Molecules*. 2020. V. 25(17). p. 3911. <https://doi.org/10.3390/molecules25173911>.
23. Amaral, G.V., Silva, E.K., Cavalcanti, R.N., Cappato, L.P., Guimaraes, J.T., Alvarenga, V.O., Esmerino, E. A., Portela, J.B., Sant'Ana, A.S., Freitas, M.Q., Silva, M.C. & Cruz, A.G. Dairy processing using supercritical carbon dioxide technology: Theoretical fundamentals, quality and safety aspects // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. V. 64. pp. 94-101. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.04.004>.
24. Bastante, C.C., Cran, M.J., Cardoso, L.C., Serrano, C.M., De La Ossa, E.M. & Bigger, S.W. Effect of supercritical CO₂ and olive leaf extract on the structural, thermal and mechanical properties of an impregnated food packaging film // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2019. V. 145. p. 181. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.12.009>.
25. Braga, M.E., Gaspar, M.C. & de Sousa, H.C. Supercritical fluid technology for agrifood materials processing // *Current Opinion in Food Science*. 2023. V. 50. p.100983. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100983>.
26. Ceni, G., Silva, M.F., Valério, C.Jr., Cansian, R.L., Oliveira, J.V., Dalla Rosa, C. & Mazutti, M.A. Continuous inactivation of alkaline phosphatase and *Escherichia coli* in milk using compressed carbon dioxide as inactivating agent // *Journal of CO₂ Utilization*. 2016. V. 13. pp. 24-28. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2015.11.003>.
27. Silva, E.K., Alvarenga, V.O., Bargas, M.A., Sant'Ana, A.S. & Meireles, M.A.A. Non-thermal microbial inactivation by using supercritical carbon dioxide: Synergic effect of process parameters // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2018. V. 139. pp. 97104. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.05.013>.
28. Amaral, G.V., Silva, E.K., Cavalcanti, R.N., Martins, C.P., Andrade, L.G.Z., Moraes, J., Alvarenga, V.O., Guimaraes, J.T., Esmerino, E.A., Freitas, M.Q., Silva, M.C., Raices, R.S.L., Sant'Ana, A.S., Meireles, M.A.A. & Cruz, A.G. Whey-grape juice drink processed by supercritical carbon dioxide technology: Physicochemical characteristics, bioactive compounds and volatile profile // *Food Chemistry*. 2018. V. 239. pp. 697-703. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.003>.
29. González-Alonso, V., Cappelletti, M., Bertolini, F.M., Lomolino, G., Zambon, A. & Spilimbergo, S. Research note: Microbial inactivation of raw chicken meat by supercritical carbon dioxide treatment alone and in combination with fresh culinary herbs // *Poultry Science*. 2020. V. 99. pp. 536-545. <https://doi.org/10.3382/ps/pez563>.
30. Marszałek, K., Woźniak, Ł., Barba, F.J., Skapska, S., Lorenzo, J.M., Zambon, A. & Spilimbergo, S. Enzymatic, physicochemical, nutritional and phytochemical profile changes of apple (Golden Delicious L.) juice under supercritical carbon dioxide and long-term cold storage. *Food Chemistry*. 2018. V. 268. pp. 279286. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.109>.
31. Cappelletti, M., Ferrentino, G. & Spilimbergo, S. Supercritical carbon dioxide combined with high power ultrasound: An effective method for the pasteurization of coconut water // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2014. V. 92. pp. 257263. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.06.010>.
32. Huang, S., Liu, B., Ge, D. & Dai, J. Effect of combined treatment with supercritical CO₂ and rosemary on microbiological and physicochemical properties of ground pork stored at 4°C // *Meat Science*. 2017. V. 125. pp. 114120. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.11.022>.
33. Morbiato, G., Zambon, A., Toffoletto, M., Poloniato, G., Dall'Acqua, S., de Bernard, M. & Spilimbergo, S. (2019). Supercritical carbon dioxide combined with high power ultrasound as innovative drying process for chicken breast // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2019. V. 147. pp. 24-32. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.02.004>.
34. Rawson, A., Tiwari, B.K., Brunton, N., Brennan, C., Cullen, P.J. & O'donnell, C. P. Application of supercritical carbon dioxide to fruit and vegetables: Extraction, processing, and preservation // *Food Reviews International*. 2022. V. 28. pp. 253276. <https://doi.org/10.1080/87559129.2011.635389>.
35. Zeng, R., Lian, K., Su, B., Lu, L., Lin, J., Tang, D., Lin, S. & Wang, X. Versatile synthesis of hollow metal sulfides via reverse cation exchange reactions for photocatalytic CO₂ reduction // *Angewandte Chemie International Edition*. 2021. V. 60(47). pp. 2505525062. <https://doi.org/10.1002/anie.202110670>.
36. Yu, Z., Tang, J., Gong, H., Gao, Y., Zeng, Y., Tang, D., & Liu, X. Enzyme-encapsulated protein trap engineered metal-organic framework-derived biomimetic probes for non-invasive prostate cancer surveillance // *Advanced Functional Materials*. 2023. V. 33. p. 2301457. <https://doi.org/10.1002/adfm.202301457>.
37. Chen, Y.Y., Temelli, F. & Gänzle, M.G. Mechanisms of inactivation of dry *Escherichia coli* by high-pressure carbon dioxide // *Applied and Environmental Microbiology*. 2017. V. 83(10). e00062-17. <https://doi.org/10.1128/AEM.00062-17>.
38. Rao, L., Wang, Y., Chen, F., Hu, X., Liao, X. & Zhao, L. High pressure CO₂ reduces the wet heat resistance of *Bacillus subtilis* spores by perturbing the inner membrane // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. V. 60. p.102291. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102291>.
39. Bertolini, F.M., Morbiato, G., Facco, P., Marszałek, K., Pérez-Esteve, É., Benedito, J., Zambon, A. & Spilimbergo, S. Optimization of the supercritical CO₂ pasteurization process for the preservation of high nutritional value of pomegranate juice // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2020. V. 164. p. 104914. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2020.104914>.
40. Guo, M., Wu, J., Xu, Y., Xiao, G., Zhang, M. & Chen, Y. Effects on microbial inactivation and quality attributes in frozen lychee juice treated by supercritical carbon dioxide // *European Food Research and Technology*. 2011. V. 232. pp. 803811. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1447-3>.
41. Marszałek, K., Skapska, S., Woźniak, Ł. & Sokółowska, B. Application of supercritical carbon dioxide for the preservation of strawberry juice: Microbial and physicochemical quality, enzymatic activity and the degradation kinetics of anthocyanins during storage // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015. V. 32. pp. 101109. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.10.005>.
42. Ortuño, C., Balaban, M. & Benedito, J. Modelling of the inactivation kinetics of *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae* and pectin methylesterase in orange juice treated with ultrasonic-assisted supercritical carbon dioxide // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2014. V. 90. pp. 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.03.004>.
43. Oulé, K.M., Dickman, M. & Arul, J. Properties of orange juice with supercritical carbon dioxide treatment // *International Journal of Food Properties*. 2013. V. 16(8). pp. 1693-1710. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.604893>.
44. Paniagua-Martínez, I., Mulet, A., García-Alvarado, M.A. & Benedito, J. Orange juice processing using a continuous flow ultrasound-assisted supercritical CO₂ system: Microbiota inactivation and product quality // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018. V. 47. pp. 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.03.024>.
45. Porębska, I., Sokółowska, B., Skapska, S. & Rzo-ska, S.J. Treatment with high hydrostatic pressure and supercritical carbon dioxide to control *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in apple juice // *Food Control*. 2017. V. 73. pp. 2430. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.06.005>.
46. Yuk, H.G., Sampedro, F., Fan, X. & Geveke, D.J.

Non-thermal processing of orange juice using a pilot-plant scale supercritical carbon dioxide system with a gas-liquid metal contactor // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2014. V. 38(1). pp.630638. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12013>.

47. Omar, A.M., Norsalwani, T.T., Khalil, H.A., Nagao, H., Zuknik, M.H., Hossain, M.S. & Norulaini, N.N. Waterless sterilization of oil palm fruitlets using supercritical carbon dioxide // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2017. V. 126. pp. 6571. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.02.019>.

48. Zambon, A., Facco, P., Morbiato, G., Toffoletto, M., Poloniato, G., Sut, S., Andriago, P., Dall'Acqua, S., Bernard, M. & Spilimbergo, S. Promoting the preservation of strawberry by supercritical CO₂ drying // *Food Chemistry*. 2022. V. 397. p.133789. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133789>.

49. Bourdoux, S., Zambon, A., Van der Linden, I., Spilimbergo, S., Devleghere, F. & Rajkovic, A. Inactivation of food-borne pathogens on leek and alfalfa seeds with supercritical carbon dioxide // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2022. V. 180. p. 105433. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105433>.

50. Michelino, F., Zambon, A., Vizzotto, M.T., Cozzi, S. & Spilimbergo, S. High power ultrasound combined with supercritical carbon dioxide for the drying and microbial inactivation of coriander // *Journal of CO₂ Utilization*. 2018. V. 24. pp. 516521. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2018.02.010>.

51. Castillo-Zamudio, R.I., Paniagua-Martínez, I., Ortuño-Cases, C., García-Alvarado, M.A., Larrea, V. & Benedito, J. Use of high-power ultrasound combined with supercritical fluids for microbial inactivation in dry-cured ham // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021. V. 67. p. 102557. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102557>.

52. Feng, J., Zheng, Y., Zhang, X., Zhou, R. & Ma, M. Effect of supercritical carbon dioxide on bacterial community, volatile profiles and quality changes during storage of Mongolian cheese // *Food Control*. 2023. V. 143. p. 109225. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109225>.

53. Sikin, A.M., Walking-Ribeiro, M. & Rizvi, S.S. Synergistic effect of supercritical carbon dioxide and peracetic acid on microbial inactivation in shredded Mozzarella-type cheese and its storage stability at ambient temperature // *Food Control*. 2016. V. 70. pp. 174182. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.050>.

54. Ferrentino, G., Balzan, S. & Spilimbergo, S. Optimization of supercritical carbon dioxide treatment for the inactivation of the natural microbial flora in cubed cooked ham // *International Journal of Food Microbiology*. 2013. V. 161. pp. 189196. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.12.004>.

55. Ferrentino, G., Balzan, S. & Spilimbergo, S. Supercritical carbon dioxide processing of dry cured ham spiked with *Listeria monocytogenes*: Inactivation kinetics, color, and sensory evaluations // *Food and Bioprocess Technology*. 2013. V. 6(5). pp.11641174. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0819-4>.

56. Silva, E.K., Guimaraes, J.T., Costa, A.L.R., Cruz, A.G. & Meireles, M.A.A. Non-thermal processing of inulin-enriched soursoy whey beverage using supercritical carbon dioxide technology // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2019. V. 154. p. 104635. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104635>.

57. Jauhar, S., Ismail-Fitry, M.R., Chong, G.H., Nor-Khaizura, M.A.R. & Ibadullah, W.Z.W. Application of supercritical

carbon dioxide (SC-CO₂) on the microbial and physicochemical quality of fresh chicken meat stored at chilling temperature // *International Food Research Journal*. 2020. V. 27. pp. 103-110.

58. Marszałek, K., Krzyżanowska, J., Woźniak, Ł. & Skąpska, S. Kinetic modelling of tissue enzymes inactivation and degradation of pigments and polyphenols in cloudy carrot and celery juices under supercritical carbon dioxide // *The Journal of Supercritical Fluids*. 2016. V. 117. pp. 26-32. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2016.07.016>.

59. Ren, R., Cai, G., Yu, Z. & Tang, D. Glucose-loaded liposomes for amplified colorimetric immunoassay of streptomycin based on enzyme-induced iron (II) chelation reaction with phenanthroline // *Sensors and Actuators B: Chemical*. 2018. V. 265. pp. 174181. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2018.03.049>.

60. Zeng, R., Huang, Z., Wang, Y. & Tang, D. Enzyme-encapsulated DNA hydrogel for highly efficient electrochemical sensing glucose // *Chem Electro Chem*. 2020. pp. 15371541. <https://doi.org/10.1002/celec.202000105>.

61. Liu, X., Wang, R., Liu, H., Wang, Y., Shi, Y. & Zhang, C. High-pressure treatment enhanced aromatic compound concentrations of melon juice and its mechanism // *Frontiers in Nutrition*. 2022. V. 9. p. 1052820. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1052820>.

62. Debbabi, H., El Mokni, R., Majdoub, S., Aliev, A. & Hammami, S. The effect of pressure on the characteristics of supercritical carbon dioxide extracts from *Calamintha nepeta* subsp. *Nepeta* // *Biomedical Chromatography*. 2020. V. 34(9). e4871. <https://doi.org/10.1002/bmc.4871>.

63. Trych, U., Buniowska, M., Skąpska, S., Kapusta, I. & Marszałek, K. Bioaccessibility of antioxidants in blackcurrant juice after treatment using supercritical carbon dioxide // *Molecules*. 2022. V. 27. p. 1036. <https://doi.org/10.3390/molecules27031036>.

64. Bušić, A., Vojvodić, A., Komes, D., Belščak-Cvitanović, A., Stolk, M. & Hoffland, G. Comparative evaluation of CO₂ drying as an alternative drying technique of basil (*Ocimum basilicum* L.) - The effect on bioactive and sensory properties // *Food Research International*. 2014. V. 64. pp. 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.013>.

Информация об авторах

Л. Ч. Бурак – доктор философии в области пищевых наук, кандидат технических наук, профессор РАН, директор Общества с ограниченной ответственностью «Белросаква».

Information about the authors

L. Ch. Burak - Doctor of Philosophy in the field of food sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Russian Academy of Natural Sciences, Director of the Limited Liability Company "Belrosakava".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 02 мая 2024; одобрена после рецензирования 28 февраля 2025; принята к публикации 05 марта 2025.

The article was received by the editorial board on 02 May 2024; approved after editing on 28 Feb 2025; accepted for publication on 05 Mar 2025.